

## DISTRIBUTION AV VÄRME

Människans första "uppvärmningssystem" bestod av en öppen eld. Senare användes olika typer av "kär", och så småningom blev elden "inmurad". Risken för koloxidförgiftning föranledde senare uppfinningar såsom rökfång och olika typer av skorstenar.

Romarna använde på sin tid centralvärmesystem för vissa offentliga byggnader. Eldningen skedde här centralt, och de heta förbränningsgaserna fick stryka förbi golvens undersida. Dessa system kallas hypokaustsystem.

Under 1500-talet konstruerades de första kaminerna. De var ett stort framsteg eftersom även vanligt folk kunde bo rökfritt inomhus. Kaminer innebär dock risk för koloxidförgiftning och kräver mycket arbete och utrymme. I början av 1800-talet började därför centralvärmeanläggningar med vatten som medium att komma till användning. Dessa anläggningar fick dock ej någon större spridning förrän vid sekelskiftet, då bl a de första cirkulationspumparna konstruerades.

### Värmesystem

#### Centralvärmesystem

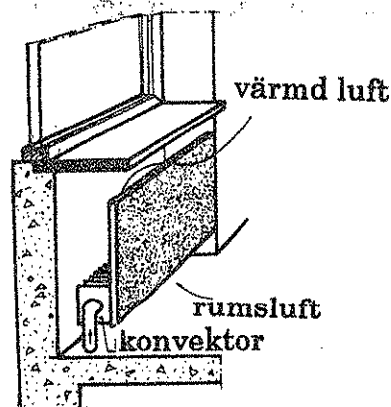
Centralvärmesystemen kan indelas efter de värmeöverförande egenskaperna;

- \* Vid system med konvektiv värmeöverföring sker värmeöverföringen till människan via luften. Till denna kategori hör luftvärmesystem och system med s k konvektorer (figur 45). Vissa lokalvärmare (t ex ugnar), där värmen huvudsakligen överförs från värmarna till luften, kan även hänföras till denna grupp.
- \* Golvvärme är ett värmesystem där drygt 30 % av värmeenergin överförs genom strålning, och knappt 70 % överförs från de varma golven till luften via konvektion. Radiatorer överför knappt hälften av sin värmeenergi via strålning, och intar därför en mellanställning.
- \* Takvärme och strålkaminer är exempel på system där värmeöverföringen till stor del sker genom strålning.

Konvektiva system ger i regel en jämnare temperatur i den uppvärmda lokalen. Strålningssystemen kan däremot utformas så att de ger en mera lokal uppvärmning, vilket kan medföra lägre energiåtgång.

Värmesystemen kan även indelas efter andra grunder. Ett sätt är att indela dem efter det värmebärande mediet, t ex:

- \* Luftvärmesystem, vilka är vanliga i USA.
- \* Vattenvärmesystem, vilka är vanligt förekommande i Sverige.
- \* Ångvärmesystem, som bl a används för industriuppvärmning.

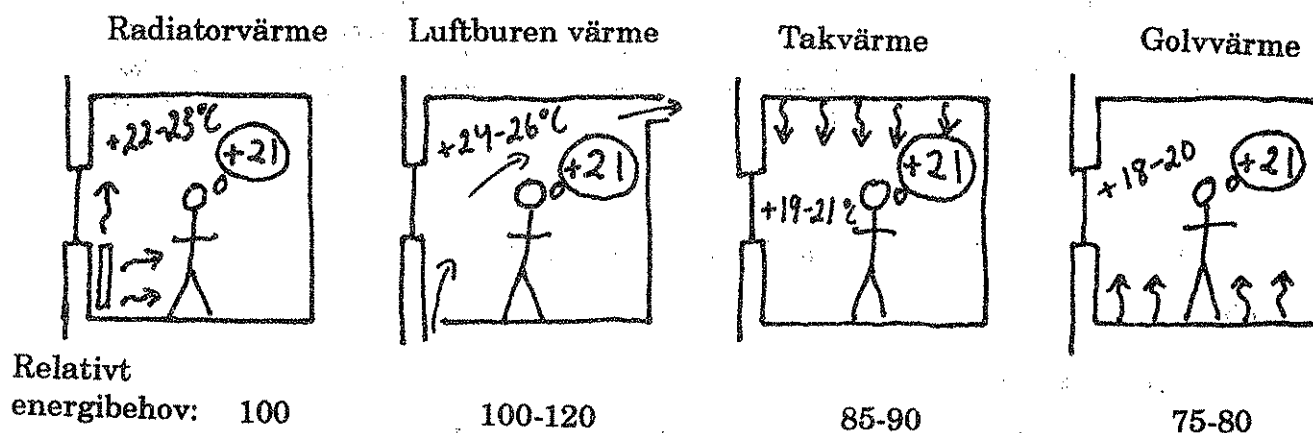


Figur 45. Konvektor där värmen överförs till luften. Källa: Peterson, 1980.

I luftburna värmesystem har mediet en relativt låg temperatur, och kan då kombineras med ventilationsanläggningen. Dessutom är systemet lämpligt för återvinning av energi med t ex värmepump. En nackdel är att byggnadskonstruktionen blir ganska dyr. Den högre lufthastigheten medför krav på högre rumstemperatur och därmed ökat energibehov. Likaledes kan det uppstå problem med damm och buller.

Vattenburna system är väl beprövade. Dessa system behöver ingen separat anläggning för tappvarmvattnet, och de erbjuder dessutom möjligheter till värmelagring (t ex ackumulator). Uppvärmningstemperaturen är emellertid högre, och om anläggningen inte används vintertid föreligger frysrisk. Vidare kan det uppstå korrosionsproblem. Detta gäller i synnerhet om vattnet syresätts.

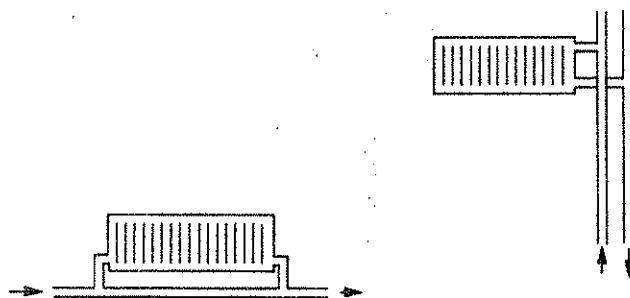
Ångvärmesystemen medför höga yttemperaturer och används till följd därav sällan i bostäder. Dessa system är svåra att reglera centralt, varvid en viktig fördel med centralvärme går förlorad.



Figur 46. Relativt energibehov vid olika värmesystem. Golvvärmesystem har något lägre energiåtgång än takvärmesystem. Detta beror på att människan är mest känslig för kyla vid fötter och anklar.

Vattenvärmesystem, vilka behandlas i det följande, kan förutom indelning efter de värmeöverförande egenskaperna, även indelas i öppna och slutna system.

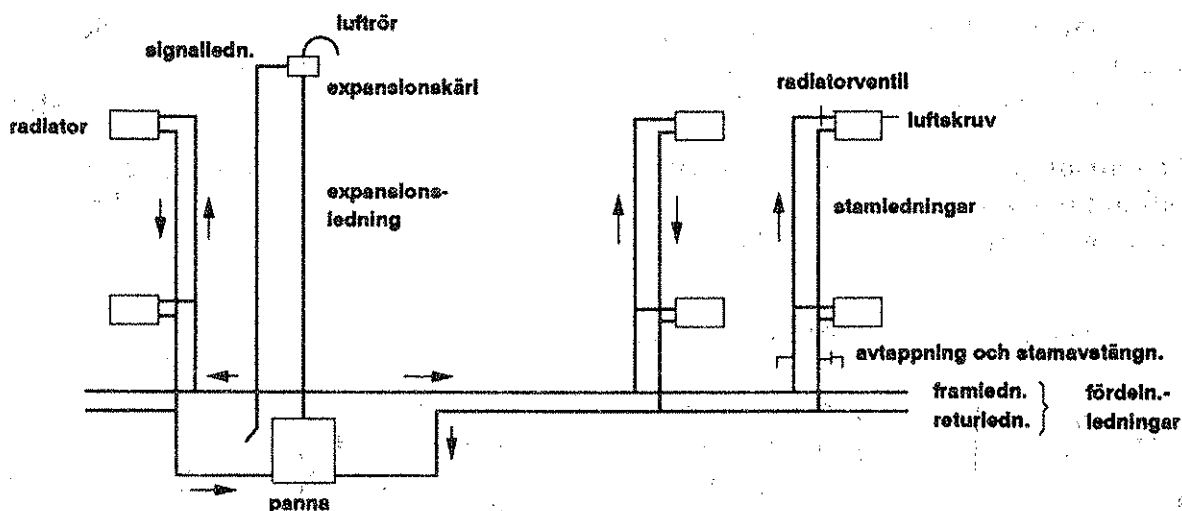
Dessa konstruktioner kan utföras med antingen ett- eller tvårörssystem vid radiatorerna (figur 47).



Figur 47. Ett- resp tvårörssystem vid radiatorerna.

### Öppna system

I ett öppet värmesystem har expansionskärlet en fri vattenyta, d v s vattenytan är i förbindelse med den fria luften. I figur 48 visas hur ett sådant system är uppbyggt. Vatten som värms i pannan cirkulerar via rören ut till de olika värmarna. Ibland är värmepannan utbytt mot en värmeväxlare, vilket är fallet vid t ex fjärrvärmesystem.

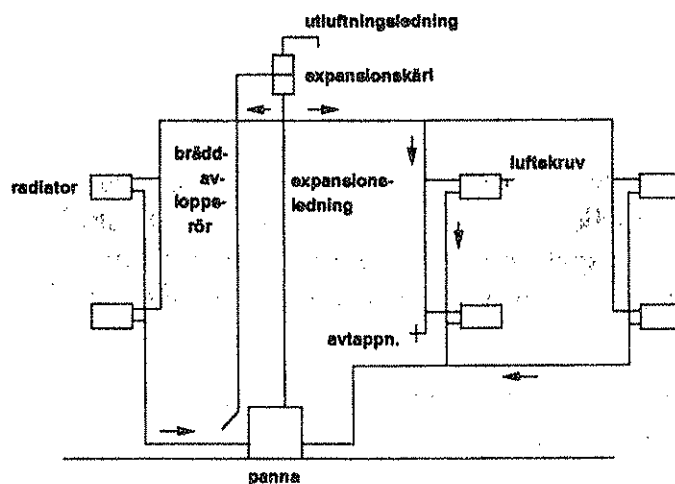


Figur 48. Öppet tvårörssystem med undre fördelning.

Enligt figur 48 består systemet av

- \* en värmepanna
- \* fördelningsledningar, d v s ledningar från pannan till värmarna (framledningar), och tillbaka till pannan igen (returledningar)
- \* stigarledningar eller stamledningar, vari vattnet stiger från framledningarna till de olika våningarna
- \* radiatorer, vilka avger värmen.

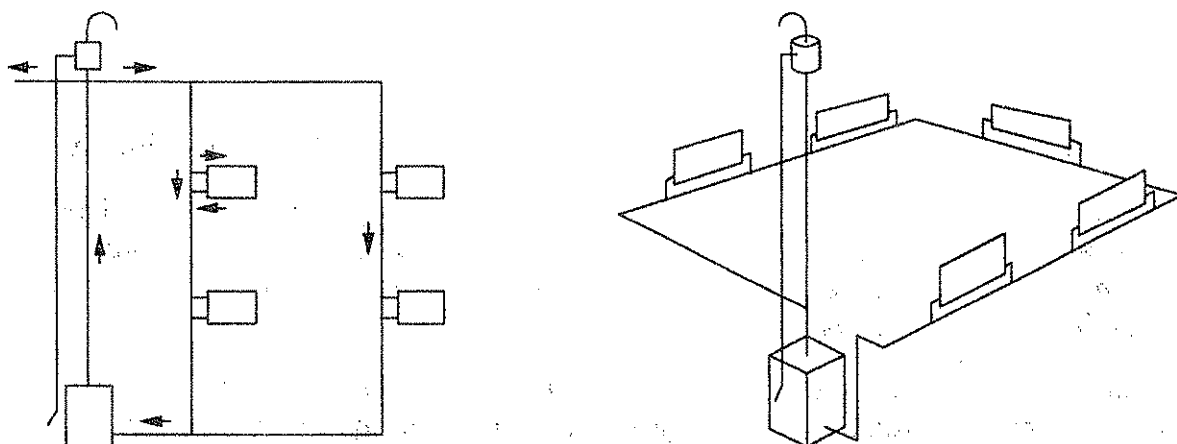
Röret från pannan till expansionskärlet är ett säkerhetsrör, genom vilket ånga blåses vid kokning. Expansionsröret hindrar således att pannan utsätts för höga tryck. Röret måste ha oavbruten stigning och vara frostfritt anordnat. I expansionskärlet upptas vattnets volymökning vid uppvärmning. Öppna expansionskärler är utrustade med ett ångavloppsrör (imrör) samt ett bräddavloppsrör (signalerör). Bräddavloppsröret bör mynna synligt över ett avlopp. Expansionskärlet bör rymma minst 5 % av systemets totala vatteninnehåll.



Figur 49. Öppet tvårörssystem med övre fördelning.

Systemen är försedda med flera avtappningsmöjligheter vid t ex stamledningar och panna. Vid reparationer och byte av värmare måste vattnet tappas av. Beroende på att man kan stänga av en viss stam från det övriga systemet, behöver endast en mindre volym vatten tappas av. Härvid minskar risken för korrosion, eftersom systemet tillförs syrehaltigt vatten vid påfyllning.

Uppbyggnaden av ettrörssystem framgår av figur 50. Ettrörssystem med övre fördelning används i flerplanshus. Här fördelas vattnet till radiatorerna via falledningar. I enplanshus med ettrörssystem har man en horisontell slinga. Dessa system är i övrigt utrustade med samma armatur m m som de ovan visade tvårörssystemen.



Figur 50. Ettrörssystem med övre fördelning, samt med horisontell slinga.

## Slutna system

Slutna system används där vattentemperaturen överstiger 100°C. Här är expansionskärlet tillslutet. En fördel med detta system är att vattnets syresättning till stor del förhindras, varvid risken för korrosion minskar. Hetvattensystemen kräver ständig tillsyn och är mer komplicerade än de öppna systemen. De kommer därför till användning vid större anläggningar, industrier m m.

## **Cirkulation**

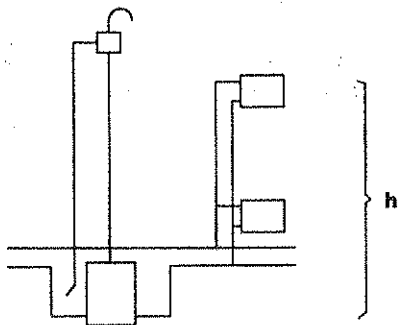
### Drivkraft

Vattenströmningen kan frambringas med såväl självcirkulation som med pump. Vid självcirkulation åstadkommes strömningen genom de skillnader i vattnets densitet som uppträder i systemet. Denna cirkulationsprincip var vanlig förr. Idag används nästan enbart pumpar för vattnets cirkulation. Fördelar med pumphuset är:

- \* cirkulationen kan startas snabbt, vilket spar energi
- \* systemen är lättare att reglera in
- \* man kan använda mindre rördimensioner

Vid självcirkulation erhålls det drivande trycket ( $\Delta p$ ) genom densitetsskillnaden ( $\Delta \rho$ ) mellan det kalla vattnet i återledningen och det varma vattnet i framledningen. Vidare är tryckskillnaden proportionell mot höjskillnaden ( $h$  i figur 51) mellan radiatorerna och pannan. Följande samband gäller sålunda ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ )

$$\Delta p = \Delta \rho \cdot g \cdot h$$



Figur 51. Höjdskillnaden ( $h$ ) påverkar systemets drivkraft vid självcirkulation.

Denna drivkraft ska kompensera för energiförlusterna vid strömning, d v s friktionsmotstånden i ledningar, ventiler och radiatorer. Höjdskillnaden bör vara så stor som möjligt (pannan kan t ex placeras i källaren), och man bör undvika horisontella ledningar, vilka ökar friktionen men ej systemets drivkraft.

Cirkulationspumparna, vilka ofta är av centrifugaltyp, måste vara driftsäkra, tysta och lättskötta. Ibland används pumpar med två pumphus, där det ena pumphuset fungerar som "reserv".

Effektbehovet för pumpar kan bestämmas utifrån

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot q_v \cdot H}{\eta_t} (1 + s) \quad (W)$$

där  $\rho$  = vattnets densitet ( $\text{kg/m}^3$ )

$q_v$  = vattenflödet ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

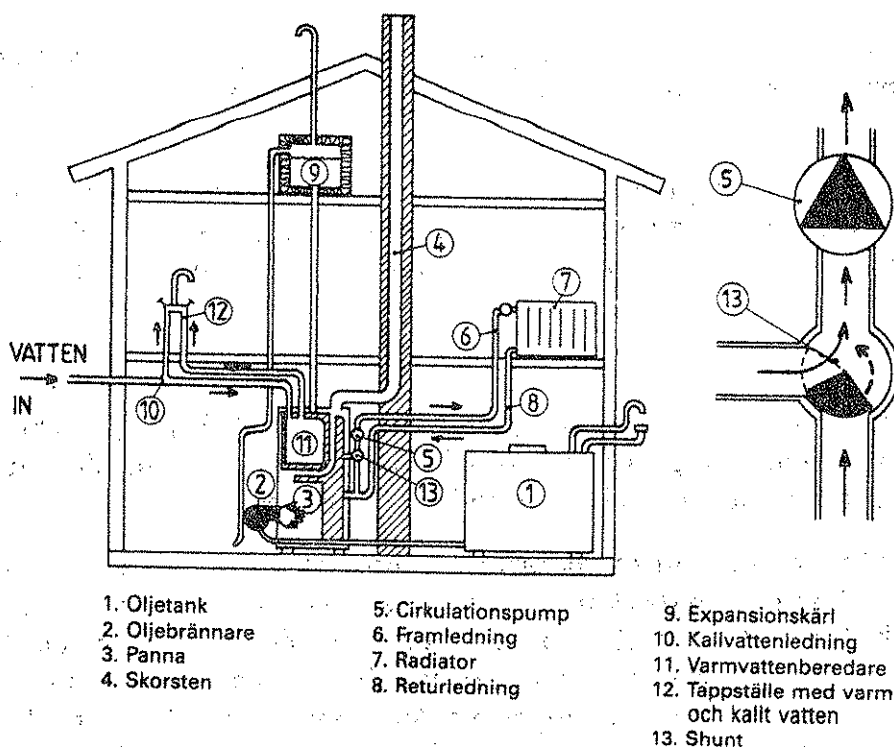
$H$  = uppföringshöjden (m)

$\eta_t$  = totalverkningsgraden

$s$  = ett påslag som beaktar att motorn kräver högre effekt än det "teoretiska" för att ej överbelastas (vid pumpeffekten 2 kW är  $s=0,4$  och vid 1,0 kW  $s=0,2$ )

### Shuntning

För att anpassa effektavgivningen används en s k shunt (figur 52). Shunten blandar in hett pannvatten i det avkylda returvattnet. Framledningstemperaturen regleras genom att den mängd hett pannvatten som släpps ut i systemet påverkas av shuntens inställning. Shunten skall kontinuerligt ställas om efter värmebehovet.



Figur 52. Ett oljeeldat värmesystem, med en shunt som reglerar effektavgivningen till bostaden. Källa: Ehrlemark & Svensson, 1982.

### Luftning

Luftens löslighet i vatten varierar med vattnets tryck och temperatur. Ibland kan därför luft frigöras i vissa delar av värmesystemet. Dessa luftblåsor stör vat-

tencirkulationen kraftigt, och förorsakar även korrosionsangrepp. Luftavskiljning sker framförallt i pannan (där temperaturen höjs) eller i de övre radiatorerna (där trycket är lågt). Systemens avluftning underlättas om

- \* framledning (och även returledning) har en viss stigning ( $\geq 1:50$ ) vid pannan
- \* framledningarna har speciella luftledningar till expansionskärlet
- \* radiatorerna har luftskruvar.

### Akkumulatortankar

I det föregående har ingen akkumulatortank varit inkopplad i distributionssystemen, eftersom syftet endast har varit att visa funktionsprinciperna. Vid eldning av fasta bränslen är det emellertid nästan alltid tillrådligt att använda akkumulatortankar. Varför bör man då lagra energi i akkumulatortankar?

- \* Energin kan tillföras när den är som billigast (t ex som nattel i elpannor), eller när man har tid att elda.
- \* Man kan elda med jämn och hög effekt, vilket ger högre verkningsgrad och mindre miljöpåverkan.
- \* Energibehovet utjämnas, varvid effektopparna undviks.
- \* Eftersom pannan eldas mot ett konstant effektbehov, kan den konstrueras enklare. Pannan behöver således inte klara ett brett effektområde med många olika förutsättningar.

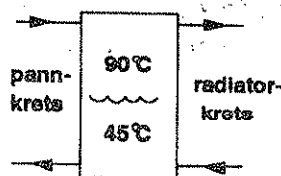
Akkumulering kan ske i många olika varianter med en eller flera akkumulatortankar kopplade parallellt eller i serie. Installationen kan göras i både öppna och slutna system, och tanken kan vara antingen trycksatt eller övertrycksfri.

### Funktion

En akkumulatortank består av ett isolerande ytterhölje för att lagringsförlusterna ska bli så små som möjligt. Lagringsmediet är vanligen vatten. Vatten har hög termisk lagringsförmåga, d v s hög specifik värmekapacitet.

Då vattnets densitet sjunker när temperaturen stiger, återfinns det varmare vattnet överst i tanken medan det kallare vattnet sjunker mot botten. Denna skiktning ska alltid eftersträvas, eftersom man då kan ladda ur tanken till låg temperatur. Skiktningen befrämjas om alla rörledningar med varmt vatten ansluts till tankens övre del, och ledningar med avkyllt vatten ansluts vid tankens botten (figur 53). Vidare bör vattnet tillföras ackumulatören med låg flödes hastighet. Detta förhindrar turbulenta strömningar, vilka kan sätta vattnet i tanken i rörelse.

En fördel med skiktat vatten är att utloppstemperaturen är konstant, även om vattnet längre ned i tanken är avkyllt. Härvid kan en större mängd nyttigt värme lagras i en given vattenvolym. Dessutom är det möjligt att tillföra radiatorkretsen varmt vatten kort tid efter en eldningsstart, trots att bottenvattnet är kallt.



Figur 53. Lämplig anslutning av rör för att erhålla skiktning av vattnet.

Akkumulatortanken måste vara omsorgsfullt isolerad för att minska värmeförlusterna till omgivningen. Även om förlusterna stannar i byggnaden, vill man ha en kontrollerad värmetillförsel.

Isoleringsmaterial av polyuretan är mycket effektiva. Ett lager med tjockleken 40-80 mm ger t ex en genomsnittlig effektförlust på 60 W för en tank som innehåller 700 liter. Mineralull och olika isoleringsmaterial av plast är även lämpliga. Isoleringstjockleken bör vara väl tilltagen; gärna 25-40 cm. Flera mindre tankar ger större yta mot omgivningen än en stor tank, vilket är negativt ur isoleringssynpunkt. Dessutom bör man tänka på att dåligt isolerade röranslutningar, ventiler o dyl, kan ge icke oansenliga förluster.

### Inkoppling

#### *Trycksatta system*

System med akkumulatortankar kan - oberoende av om systemen är öppna eller slutna - vara trycksatta eller övertrycksfria. Systemen klassas som trycksatta om det statiska trycket i tanken överstiger 0,03 bar ( $\approx 3$  kPa eller 0,3 m v p). Jämför detta med ett öppet expansionskärl 4 m över tanken, som ger ett statiskt tryck på 0,4 bar.

Tankar till dessa system måste tilverkas enligt tryckkärlsnormerna, vilket medför att tankarna blir dyra. Det går ej att använda gamla oljetankar till dessa system.

I vissa äldre anläggningar utgör pannan systemets centrum, d v s radiatorkretsen utgår från pannan. Pannan hålls här ständigt varm och förlusterna blir stora. Med förbättrade system kan man försöka återföra det varmare vattnet till tanken utan att blanda. Dubbel pumpuppsättning, olika ventilkombinationer m m kan ge resultat, men skiktningen blir ändå inte fullgod.

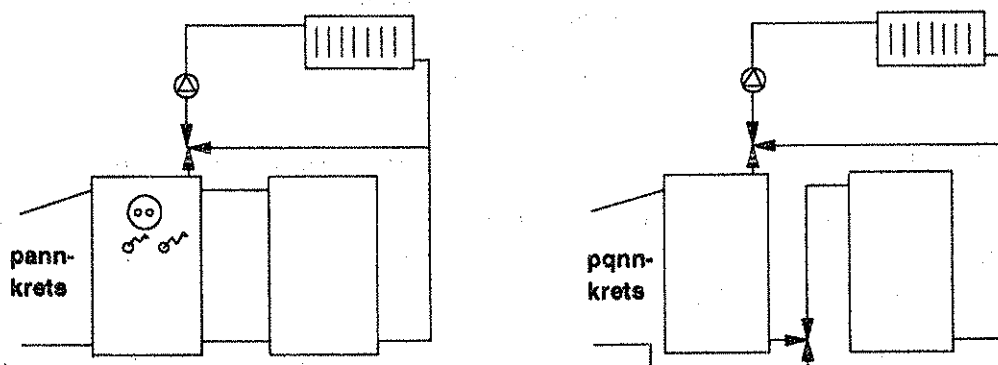
Vid installation av ny anläggning bör man koppla akkumulatortanken i centrum. Varmvattenberedning, elpatroner och shuntgrupp placeras då vid tanken.

Om utrymmet är begränsat kan man tvingas att ha flera mindre tankar istället för en stor tank. Dessa tankar kan kopplas såväl parallellt som i serie.

Parallellkoppling bör användas om akkumulatortankarna skall utnyttjas för både uppvärmning och varmvattenberedning. Tankarna förbindes topp mot topp och botten mot botten (figur 54).



Om systemet endast är avsett för uppvärmning kan tankarna kopplas i serie. Tankarna laddas då ur i tur och ordning. Lägg märke till att radiatorkretsens pump vänder strömningsriktningen genom tankarna vid urladdning (figur 54).



Figur 54. Ackumulatortankar kopplade parallellt (t v) och i serie (t h).

### Övertrycksfria system

Trycket i övertrycksfria system får endast överstiga atmosfärstrycket med 0,03 bar (0,3 m v p). Cisternerna behöver ej tillverkas enligt tryckkärlsnormerna, och man kan därför t ex använda gamla oljetankar. Expansionskärlet kopplas i direkt anslutning till ackumulatortanken (maximalt 3 dm mellan vattenytorna i expansionskärlet resp tank!). Ibland utnyttjas tanken som expansionskärlet. Detta är inte tillrådligt eftersom risken för korrosion är stor.

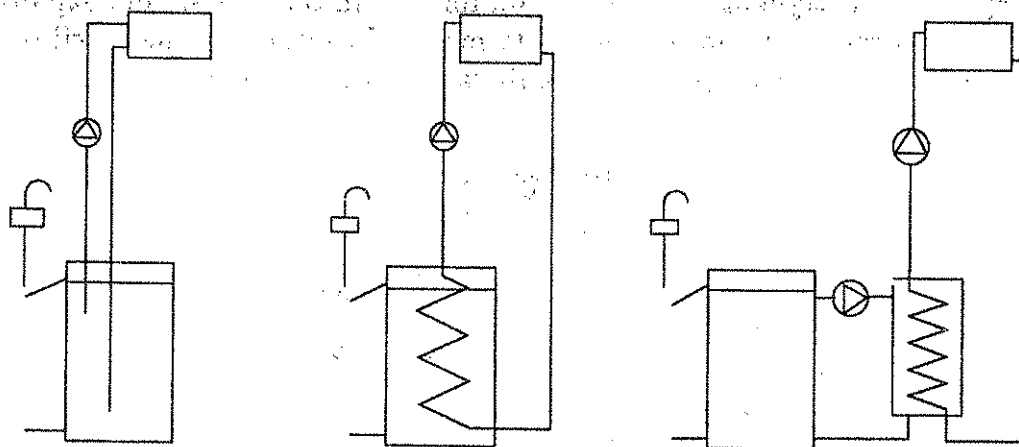
I övertrycksfria system kan varmvattnet distribueras till radiatorerna enligt bl a följande metoder:

- \* med vakuumupphängt vatten
- \* med värmeväxlare
- \* med hävert

System med vakuumupphängt vatten (figur 55 t v) ställer stora krav på radiatorers och rörledningars täthet. Risken för att luft läcker in är stor, och därför används detta system mycket sällan i praktiken.

I figur 55 (mitten) visas ett system med värmeväxlare. Värmeväxlaren och varmvattenberedaren är här placerade i tanken. Tankens skiktning försämras med denna koppling. Ett alternativ är att placera värmeväxlaren utanför tanken, varvid skiktningen upprätthålles. Värmeväxling medför dock alltid termiska förluster. Man utnyttjar en lägre temperaturdifferens, varvid tankens effektiva lagringskapacitet minskar. System med värmeväxlare är kostsamma. En fördel är dock att radiatorerna är trycksatta på traditionellt sätt.

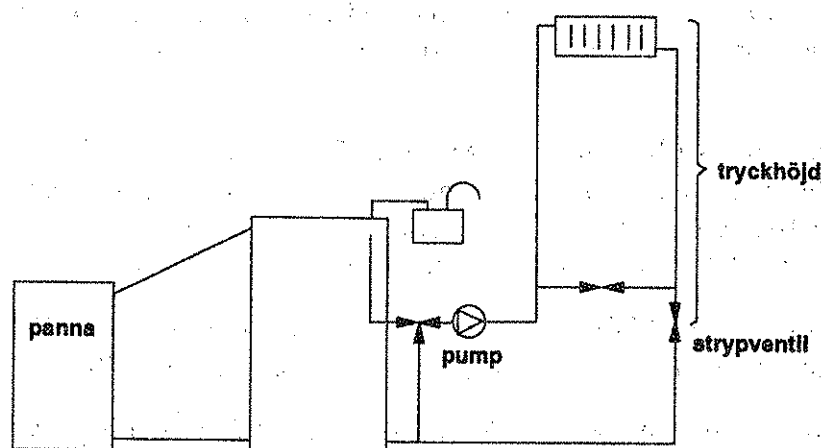
I övertrycksfria system som arbetar enligt hävertprincipen behövs ingen värmeväxlare. Panna och radiatorer kopplas in enligt gängse standardkopplingar. Cirkulationspumpen placeras i framledningen under vattenytan i tanken. Returledningen utrustas med en ventil som stryper flödet. Pumpen arbetar sedan upp



Figur 55. Vakuumpupphängt system (t v), och system med invändig (mitten) resp utvändig värmeväxlare (t h).

ett övertryck mot den strypta ventilen utan att det trycklösa förhållandet påverkas i ackumulatortanke. Trots att radiatorerna är placerade högre än ackumulatortanken, stannar vattnet kvar p g a vakuum vid driftavbrott. Detta kan skada gamla radiatorsystem och ska därför undvikas. Man bör tillse att pumpfunktionen alltid är säkerställd.

I detta system förekommer inga förluster genom värmeväxling, och tankens skiktning bibehålls. Dessutom kan man utan att ta hänsyn till tryckkärlsnormerna specialtillverka tankar för svåråtkomliga utrymmen. En viktig nackdel med detta system är att såväl inkoppling som drift kräver kunskap och uppmärksamhet.

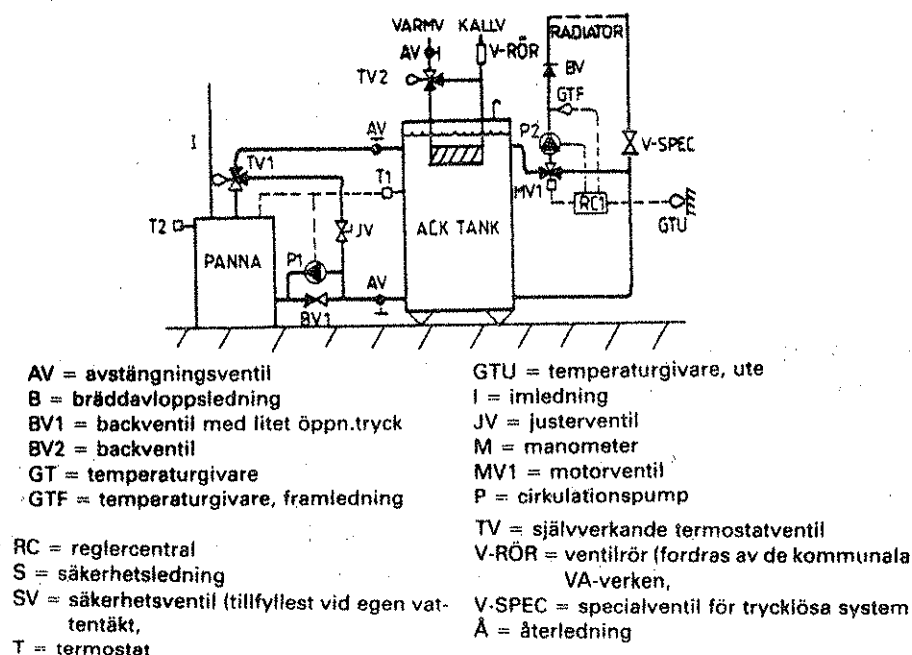


Figur 56. Övertrycksfri inkoppling enligt hävertprincipen.

### Exempel på reglering av en anläggning

Ett värmesystem med ackumulatortank innehåller ventiler, termostater, temperaturgivare, reglercentral m m. För att ge en uppfattning om hur de olika komponenterna fungerar ihop, beskrivs här ett system enligt figur 57 (Nilsson et

al, 1988). Systemet är trycklöst, och ackumulatortanken tjänar här som expansionskärl. Rör och radiatorer måste vara täta mot undertryck. Vattnets skiktning utnyttjas, samtidigt som pannan är kall då eldning ej pågår.



Figur 57. Exempel på inkoppling av ackumulatortank i ett trycklöst system.  
 Källa: Nilsson et al, 1988.

Termostaten T1, monterad ca 2/3 från tankens botten, ger signal att pannan behöver starta. Samtidigt startar pumpen P1. Pannan är sedan i drift tills termostaten T2 (panntermostaten) bryter driften, vilket sker sedan ackumulatorn uppnått den på termostaten T2 inställda temperaturen. T1 ställs in på ca 50°C och T2 på ca 90°C.

Under drift släpper den självverkande ventilen TV1 fram vattnet till ackumulatortanken först då pannvattentemperaturen är ca 70°C. Vid lägre temperatur interncirkuleras vattnet genom pumpen P1 tillbaka till pannan. Denna interna cirkulationskrets resulterar i att pannan snabbare blir varm vid start.

Den självverkande ventilen TV2 styr utgående temperatur på tappvarmvattnet genom inblandning av kallvatten. Vanligen ställs TV2 in på ca 50°C.

Givaren för utomhustemperaturen (GTU) registrerar ständigt temperaturen utomhus. I reglercentralen (RC1) ställs önskad inomhustemperatur in. Reglercentralen (RC1) ger sedan order till motorventilen (MV1) att med shunten anpassa framledningstemperaturen ut till radiatorerna. Temperaturgivaren GTF känner av denna framledningstemperatur. När det blir kallare utomhus ökar värmeförlusterna från huset, men samtidigt ser reglerutrustningen till att värmetillförseln ökar i motsvarande grad. Är temperaturen tillräckligt hög stoppas pumpen P2 via RC1.

En ackumulatoranläggning bör alltid förses med reglerautomatik. Det föreligger annars risk för att ackumulatorns varierande temperatur ger skiftande temperatur i bostaden. Effekttuttaget blir då högt vid hög temperatur och lågt vid låg temperatur i tanken.

Med hjälp av radiatortermostater kan mycket energi sparas. Termostaterna styr värmeflödet i rummen så att önskad temperatur erhålls, oberoende av om det t ex är solsken eller om många personer vistas i rummet.

### Dimensionering

De kriterier som bör ligga till grund för dimensionering av en ackumulatortank är:

- \* pannans eldstadsvolym, effekt etc
- \* husets energi- och effektbehov
- \* uppvärmningssystemets krav på temperaturnivå
- \* brukarens önskemål angående eldningsintervall, tillgång på ved etc.

Man bör aldrig installera en ackumulatortank som är mindre än vad en full eldstad klarar att värma. Husets utformning och tillgängliga utrymmen kan dock begränsa volymen. Nedan följer ett förslag på hur man enkelt kan uppskatta erforderlig ackumulatorvolym.

EXEMPEL. Beräkna erforderlig volym för en ackumulatortank i ett hus i Uppsala. Det årliga energibehovet för uppvärmning är 30 000 kWh, och för tappvarmvattnet åtgår 5000 kWh. Husets ägare önskar att en fulladdad tank ska hålla huset varmt minst ett dygn när det är som kallast (LUT 100). Antag att vattnet skiktas med temperaturskillnaden 45°C (90°C i framledningen och 45°C i returledningen). Förlusterna från tanken är 200 W.

FÖRSLAG PÅ LÖSNING. Lösningen kan indelas i tre steg:

1. Bestäm maximalt effektbehov vid LUT 100.
  2. Beräkna den energimängd som behövs i ett dygn vid detta effekttuttag.
  3. Beräkna den mängd vatten som kan lagra denna energimängd.
1. Det maximala effektbehovet vid LUT 100 kan bestämmas med hjälp av gradtimmemetoden. I figur 17 har antalet gradtimmar ritats in i ett varaktighetsdiagram för Uppsala. Antalet gradtimmar är

$$Q = \frac{(17 - (-9,5))5950}{2} + \frac{(-9,5 - (-14))350}{2} = 79620 \text{ } ^\circ\text{Ch}$$

Maximalt effektbehov vid LUT 100 sökes, d v s då  $T_u = -12,5^\circ\text{C}$  och  $T_i = 17^\circ\text{C}$ . Härav följer att

$$P_{\text{maxuppv}} = \frac{W_{\text{års}}(T_i - T_u)}{Q} = \frac{30000(17 - (-12,5))}{79620} = 11,12 \text{ kW}$$

Effektbehovet för varmvatten är  $5000 \text{ kWh}/8760 \text{ h} = 0,57 \text{ kW}$ , och förlusterna uppgår till  $0,20 \text{ kW}$ . Det maximala effektbehovet är således  $11,12 + 0,57 + 0,20 = 11,89 \text{ kW}$ .

2. Detta effektbehov motsvarar under ett dygn energimängden

$$W = P_{\text{max tot}} \cdot t = 11,89 \cdot 24 \text{ kWh} = 285,4 \text{ kWh} = 1027 \text{ MJ}$$

3. I tanken är det möjligt att lagra energimängden

$$W = m \cdot c_p \cdot \Delta T = \rho \cdot V \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Vattnets densitet ( $\rho$ ), liksom dess specifika värmekapacitet ( $c_p$ ), varierar med temperaturen. Densiteten väljes när vattnet behöver störst volym, d v s vid  $90^\circ\text{C}$  är  $\rho_{\text{min}} = 965,3 \text{ kg/m}^3$  (DoD s.76)<sup>1</sup>. Den specifika värmekapaciteten kan bestämmas genom interpolation i DoD s.76. För mer praktiska beräkningar används  $c_p = 4200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ .

Volymen är således

$$V = \frac{W}{\rho_{\text{min}} \cdot c_p \cdot \Delta T} = \frac{1027 \cdot 10^6}{965,3 \cdot 4200 \cdot 45} = 5,60 \text{ m}^3$$

Tanken bör ha en volym på minst  $5,6 \text{ m}^3$ .

## Radiatorer

Radiatorn, liksom lokala eldstäder, släta rör, kamflänsrör, värmda vägg- och golvelement, strålningsvärmare etc, är exempel på lokalvärmare. I bostäder utnyttjas främst radiatorer. Släta rör och kamflänsrör används i industrilokaler där värmarnas utseende har mindre betydelse. I lokaler där man ej vill värma upp luften i onödan, används t ex varma tak eller väggar, eller strålningsvärmare.

## Placering

Radiatorerna ska placeras och utformas så att man får en känsla av jämn temperatur. Detta åstadkommes med en jämn lufttemperatur. Om värmarna placeras olämpligt kan det t ex uppstå stora temperaturskillnader mellan golv och tak.

Vidare bör radiatorerna placeras så att de samverkar med rumsluftens rörelser. Vid t ex ytterväggar och fönster kyles luften och faller ned mot golvet. Den varma luften vid värmarna stiger däremot uppåt. De temperaturskillnader som härvid

---

<sup>1</sup> Mörtstedt, S. E. & Hellsten, G. 1985. Data och diagram. Esselte. Stockholm.

uppstår motverkas om värmarna placeras så att dessa luftströmmar möts. Radiatorer bör sålunda placeras vid ytterväggarna, och i första hand under fönstren. Denna placering minskar även de kalla nedåtgående luftströmmarnas avkylande verkan ("drag").

Förutom lufttemperaturen och luftströmningsförhållandena har även värme-strålningen stort inflytande för vårt termiska välbefinnande. Vid kylig väderlek är det inte svårt att erfara detta i ett rum med stora kalla ytor såsom ytter-väggar och fönster.

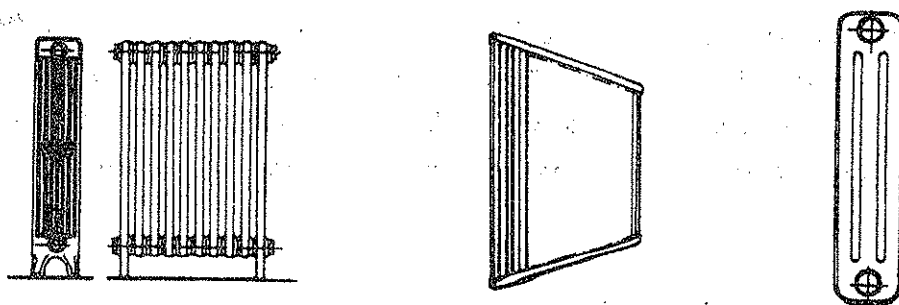
För att erhålla en jämn temperaturfördelning och minska risken för torrdestilla-tion av damm m m, bör radiatorns ytemperatur inte vara alltför hög. Av dessa skäl är temperaturen på framledningsvattnet ungefär  $50^{\circ}\text{C}$ . Vid hetvattenssystem kan dock temperaturen vara högre. Vid en viss framledningstemperatur blir den värmeavgivande effekten lägre ju mindre radiatorytan är. En mindre yta medför att radiatorn blir billigare. Av ekonomiska skäl har man därför satt radiatorns temperaturfall till  $10\text{-}20^{\circ}\text{C}$ , d v s returtemperaturen är  $30\text{-}40^{\circ}\text{C}$ .

### Utförande

Radiatorer tillverkas vanligen av stålplåt med tjockleken 1,3-1,5 mm. De kan utföras som sektionsradiatorer eller panelradiatorer (figur 58). De förra har stor konvektionsyta i förhållande till sin strålningsyta. Radiatorernas mått är stan-dardiserade för att passa under fönster med standarddimensioner.

I äldre byggnader förekommer radiatorer av gjutjärn. Dessa har ganska stor vat-tenvolym och är svåra att reglera snabbt.

Numera finns det radiatorer tillverkade av aluminium och plast. Aluminium kan dock ge korrosionsproblem, och plast tål inte alltför höga temperaturer.



Figur 58. Gjuten radiator, samt panel- och sektionsradiator. Källa: Peterson, 1980.

Rörradiatorer ska tåla höga tryck, och består av hopsvetsade rör. Elradiatorer består av ett plåthölje med inlagda motståndselement. Av ekonomiska skäl är ytemperaturen hög. Temperaturen bör dock av säkerhetsskäl ej överstiga  $100^{\circ}\text{C}$ .

## Radiatorers värmeavgivning

Omkring 50 % av en radiators värmeavgivning överförs via strålning. Den totala värmeavgivningen från en radiator bestäms av

$$P = U \cdot A \cdot \Theta_m$$

där  $U$  = värmegenomgångskoefficienten ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$A$  = radiatorns värmeavgivande yta ( $\text{m}^2$ )

$\Theta_m$  = medeltemperaturdifferensen ( $^{\circ}\text{C}$ ) (se t ex kapitlet om värmeväxlare)

I praktiken används ofta en enklare formel för medeltemperaturdifferensen:

$$\Theta_m = \frac{\Theta_1 + \Theta_2}{2} - \Theta_r$$

där  $\Theta_1$  = temperaturen i framledningen ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Theta_2$  = temperaturen i returledningen ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Theta_r$  = rumstemperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ )

Värmegenomgångskoefficienten beräknas enligt

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_u} + \frac{d}{\lambda}$$

där  $\alpha_i$  = värmeövergångstalet på vattensidan ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$\alpha_u$  = värmeövergångstalet på luftsidan ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$d$  = godstjockleken (m)

$\lambda$  = radiatormaterialiets värmekonduktivitet ( $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ )

För värmeövergångstalet på radiatorns insida kan man sätta  $\alpha_i = 100 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (stillastående vatten), och för  $\lambda$  värdet  $50 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  (stålplåt). För plåtradiatorer gäller approximativt  $d \approx 0,0015 \text{ m}$  och  $\alpha_u \approx 10 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , vilket leder till att  $U$ -värdet till stor del bestäms av värmeövergångstalet på radiatorns utsida, d v s

$$U \approx \alpha_u = \alpha_s + \alpha_k$$

där  $\alpha_s$  = värmeövergångstalet till följd av strålning ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$\alpha_k$  = värmeövergångstalet till följd av konvektion ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

Följande faktorer påverkar  $U$ -värdet och därmed värmeavgivningen (Peterson, 1980):

### 1. Radiatorns konstruktion;

$\alpha_s$ : Strålningsytans storlek (veckad kontra plan radiatoryta).

Strålningskonstanten (ytbehandlingen).

- $\alpha_k$ : Konvektionsytans storlek (flänsar på baksidan m m).  
 Radiatorhöjd ( $\alpha_k$  högre vid höga än vid låga radiatorer).  
 Strömningsförhållandena (luftinströmning mellan sektorerna).

## 2. Rummet och dess inredning;

- $\alpha_s$ : Rumsytornas temperatur.  
 Rumsytornas strålningstal.  
 Möblering ("strålningsskydd").

- $\alpha_k$ : Luft rörelser i rummet.  
 Möblering, gardiner.

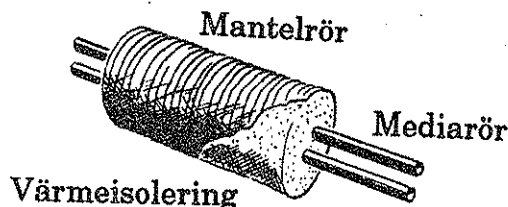
## 3. Radiatorns placering;

- $\alpha_s$ : Radiatorn vänd mot fönster eller innervägg.

- $\alpha_k$ : Avstånd mellan radiator och vägg.  
 Avstånd mellan radiator och golv.  
 Inbyggnad.

## Kulvertar

Vid utformning av gårdens värmedistribution kan det bli aktuellt att överföra värme till andra byggnader via kulvertar. En kulvert består vanligen av två eller flera mediarör, ett isoleringsmaterial och ytterst ett mantelrör (figur 59).



Figur 59. Exempel på en värmekulvert.

Mediarören tillverkas av stål, koppar eller plast. Rör av koppar och plast är att föredra eftersom de kan läggas skarvfritt. Alla kulvertar rör sig på grund av temperaturvariationer. Effekterna av dessa värmeutvidgningar och krympningar kan minskas genom att kulverten läggs i bågar eller lyror.

Kulvertens isolering kan utgöras av mineralull eller polyuretancellplast. Mineralull har den nackdelen att den suger vatten om det går hål på mantelröret, varvid isoleringsförmågan försämras. Eftersom uretancellplast har täta celler blir en skada på mantelröret inte lika allvarlig.

Mantelröret är oftast av plast. Plasten ska vara vattentät, samtidigt som den ska tåla tryck av fordon och tillåta värmeutvidgning och krympning.



Kulvertar ska läggas med omsorg. De bör ligga på en väl dränerad bädd av grus. Vid behov kan det bli nödvändigt att placera en dräneringsledning vid grusbädden. På grund av värmerörelserna utsätts mantelröret för nötning, och det är därför tillrådligt att placera fin sand runt kulvertröret.

Värmeförlusterna från en väl fungerande kulvert i marken är mindre än för en ledning ovan jord. Under den kallaste årstiden kan värmeförlusterna uppgå till 10-25 W/m, beroende på temperaturnivå och isoleringsgrad. Effektförlusterna kan överslagsmässigt beräknas enligt

$$P = U \cdot A \cdot (\Theta_i - \Theta_y)$$

där  $A$  = mantelytan ( $\text{m}^2$ )

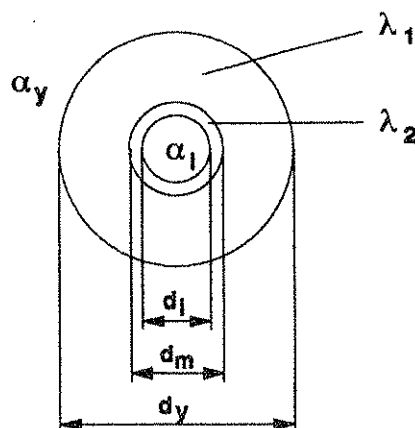
$\Theta_i$  = mediets temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Theta_y$  = markens temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$U \cdot A$  kan bestämmas ur formeln

$$\frac{1}{U \cdot A} = \frac{1}{\pi \cdot l} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_i \cdot d_i} + \frac{1}{\alpha_y \cdot d_y} + \frac{\ln \frac{d_y}{d_m}}{2\lambda_1} + \frac{\ln \frac{d_m}{d_i}}{2\lambda_2} \right)$$

där  $l$  = kulvertens längd, och övriga beteckningar enligt figur 60.



Figur 60. Beteckningar för en kulvert.

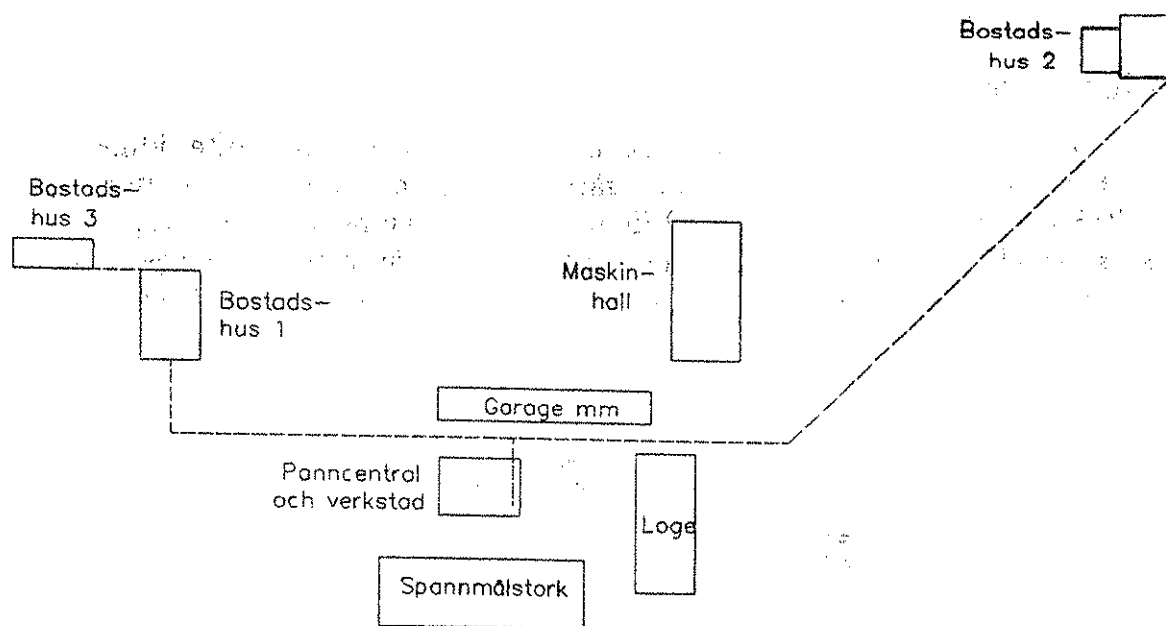
### Gårdsvärmesystem

Hur bör man då utforma ett gårdsvärmesystem? I figur 61 visas ett förslag på ett system för en gård med tre bostadshus och tillhörande ekonomibyggnader. Pannan är här placerad i verkstaden, och värmen distribueras sedan till bostadshusen via kulvertar.

ÖVNING. Vilka invändningar finns mot detta system? Fundera t ex på följande punkter:

- \* Gårdsverkstad - lågt uppvärmningsbehov.

- \* Tork - hög effekt under kort tid.
- \* Kulvert - hur långt kan den dras maximalt?
- \* Bostäder - värme- och effektbehov?
- \* Energisparande åtgärder?
- \* Alternativa energikällor?
- \* o s v.



Figur 61. Ett gårdsvärmesystem med kulvert (streckad). Källa: Axenbom, 1989.

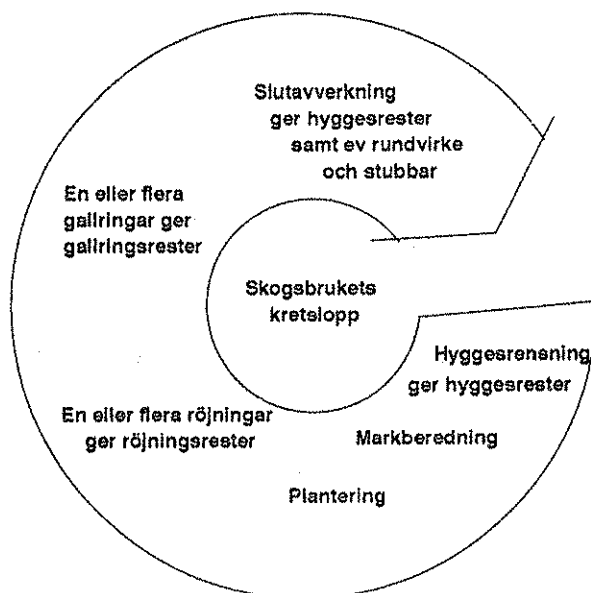
## SKOGSBRÄNSLE

Användning av bränsle från skogen för uppvärmning är ingen ny företeelse i Sverige. Skogsbränslen har svarat för större delen av landets energiförsörjning från forntiden ända fram till för ca hundra år sedan. Då kom kolet för att sedan avlösas av oljan. Skogsbränslen har emellertid fortfarande en mycket stark ställning inom vår energiförsörjning, och kan i framtiden spela en ännu viktigare roll.

### Förutsättningar och tillgångar

#### Vad är skogsbränsle?

Skogsbränslen utgörs av olika biobränslen från trädråvara, vilka inte tidigare har haft annan användning eller genomgått kemisk process. Begreppet innefattar alltså ej lutar och rivningsvirke. I figur 62 visas exempel på var i skogsbrukets kretslopp man kan tillvarata skogsbränslen. Røjnings-, gallrings- och hyggesrester, samt rundvirke och ibland stubbar utgör intressanta råvaror.



Figur 62. Många av åtgärderna i skogsbrukets kretslopp ger tillfällen till tillvaratagande av skogsbränslen.

Biomassans fördelning på trädets olika delar är grovt räknat:

* stam	60-65 %
* grenar	10-15 %
* topp	5 %
* stubbe	5-10 %
* rötter	10-20 %

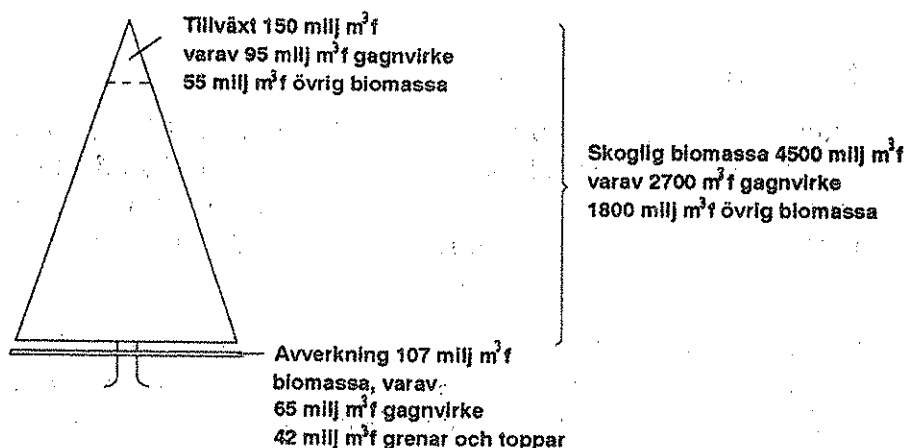
Med tillgänglig teknik är utnyttjande av stubbar och rötter ointressant. Undersökningar rörande biomassans fördelning på ovanjordiska delar visar att äldre bestånd av gran består av ca 79 % stam, 14 % grenar och 7 % barr (Leuchovius (red.), 1983). För tall är andelen stam högre, medan andelen grenar och barr är lägre. Förutom trädslaget påverkas biomassans fördelning även av beståndets ålder, bonitet, klimat m m. Lövsly och buskar från dikeskanter och skogsbryn utgör en annan råvarukälla, men utbytet av biomassa blir här relativt lågt. Innan man börjar att hugga sitt skogsbränsle bör man känna till skogsvårdslagens bestämmelser om t ex uttag av barrvirke, samt tänka över vilka konsekvenser som avverkningen kan få för natur och miljö.

Mängden skogsbränsle kan anges på flera olika sätt. Nedan följer en definition av de vanligaste enheterna;

- \*  $m^3_{sk}$  skogskubikmeter, volym stamved och bark från stubbskär till topp
- \*  $m^3_f$  kubikmeter fast mått, d v s verklig volym
- \*  $m^3_s$  kubikmeter stjälp mått (används t ex för flis)
- \*  $m^3_t$  kubikmeter travat mått
- \* tTS ton torrsubstans

### Tillgångar

Den totala mängden biomassa i Sveriges skogar är cirka 4500 milj  $m^3_f$ , varav 2700  $m^3_f$  kan tas ut som gagnvirke (figur 63). Idag är den årliga tillväxten av gagnvirke 95 milj  $m^3_f$ , medan avverkningen uppgår till endast 65 milj  $m^3_f$ . En avverkning av denna storlek ger ungefär 42 milj  $m^3_f$  hyggesrester som kan tillvaratas som bränsle.



Figur 63. Schematisk beskrivning av virkesförråd, tillväxt och avverkning i Sveriges skogar.

Om uttaget av virke ökar i framtiden kan produktionspotentialen bli ännu större. Beräkningar vid SLU visar dock att potentialen av tekniska, ekonomiska och ekologiska skäl begränsas till ca 30 milj  $m^3_f$  inför 2010-talet. Detta motsvarar en energimängd på 62 TWh. Idag utnyttjas endast hälften av denna kvantitet (Axenbom (red.), 1992).

Som framgår ovan föreligger det knappast brist på skogsbränsle. Användningen kommer därför att bestämmas av bränslets konkurrenskraft gentemot andra bränslen, och av den förda energipolitiken.

## **Drivningssystem**

### Uttag av ved

Vid tillvaratagande av helved är möjligheterna begränsade vid val av drivningssystem. I samband med motormanuell avverkning samlas veden ihop i högar och transporteras till gården/lagringsplatsen. Torkningen kan sedan ske antingen i form av långved eller lämpligen efter det att upparbetning skett. Arbetsbehovet kan minskas genom att använda miniprocessor (se figur 68), eller där så är tillämpligt använda de drivningssystem som är aktuella för flis.

Genom s k syrfällning kan torkningen av virket påskyndas. Syrfällning innebär att de fällda träden lämnas okvistade varvid löven/barren fortsätter att avge vatten genom transpiration. Beroende på väder och trädslag uppnås lägst vattenhalt efter ungefär en månad. Fukthalten kan då ha sjunkit från 50 % till ca 30 %. Syrfällt virke som torkat 1-2 månader minskar dessutom 30-40 % i vikt. Rötskadat virke torkar emellertid dåligt beroende på svamparnas förmåga att binda vatten. Tidpunkten för syrfällningen ska väljas med hänsyn till vegetationsperiodens längd och risken för insektsskador.

En annan fördel med syrfällning är att löven/barren lämnas kvar i beståndet. Nackdelar är att avverkningen måste utföras i två omgångar, samt att virket blir mera hårdflisat.

### Uttag av grenar och toppar vid röjning och gallring

Drivningssystemen vid flisning utformas bl a med hänsyn till i vilken skala arbetet sker (här visas endast exempel på småskaliga system), beståndets ålder, samt när flisningsmomentet sker. Flisning i ett tidigt skede i hanteringskedjan medger masshantering i senare led, men kan å andra sidan innebära energiförluster och mögelbildning vid lagringen.

Uttag av skogsbränsle beräknas vara lönsamt först då beståndet är högre än ca 4 m. I figur 64 visas exempel på drivningssystem i sena röjningar och i tidiga gallringar. I det första exemplet flisas veden i beståndet, medan man i nästa exempel skotar eller lunnar träden till avläggsplatsen. Flisning sker sedan i samband med transporten till pannanläggningen.

I sena gallringar där man även vill tillvarata virke för massaproduktion kan upparbetning ske enligt sortiments-, helträds- eller träddelexporterna. Sortimentsmetoden har hittills varit det vanligaste drivningssystemet i Sverige. Den innebär att man kapar och kvistar i skogen, varefter massavedsbitarna och hygesresterna tas tillvara separat. Helträds- och träddelexporterna går ut på att man transporterar hela eller delar av trädet till avlägg för kvistning, kapning och flisning.

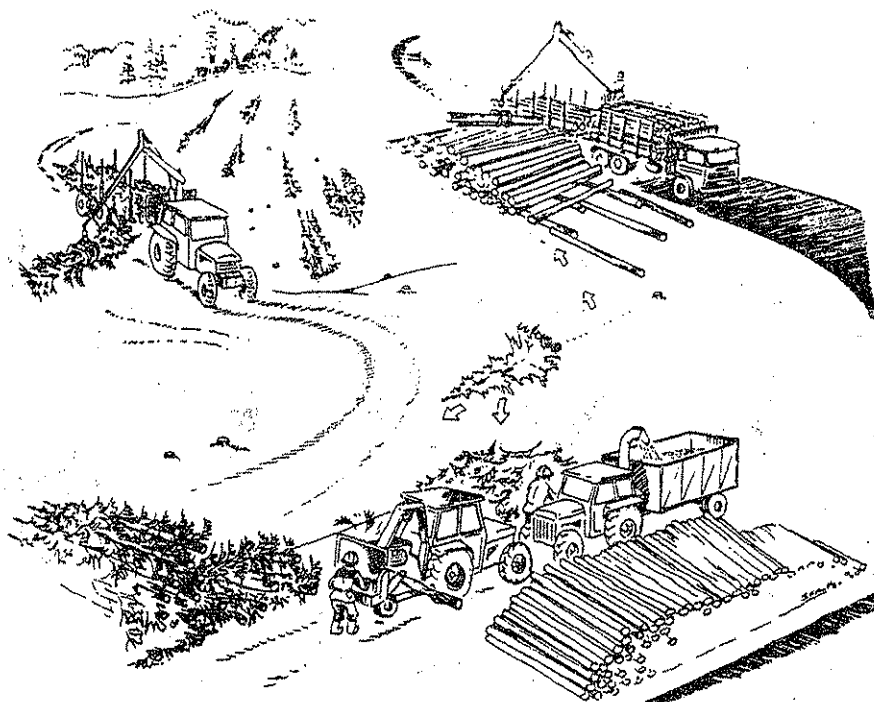


Figur 64. Till vänster ses tre sammanföringsmetoder till stickväg, varefter flisning vidtar. Till höger skotas träden till avlägget, och flisas sedan med storskalig teknik. Källa: Axenbom (red.), 1992.

#### Uttag av grenar och toppar vid slutavverkning

Störst mängd skogsbränsle erhålls vid slutavverkningen. Efter motormanuell avverkning låter man i allmänhet hyggesresterna ligga kvar för torkning. Man ska dock alltid vara uppmärksam på att skadeinsekter kan använda det färska virket som yngelplats. Efter torkningen kan man sedan välja att flisa veden på hygget, eller t ex samla ihop den med en grotskotare (grot = grenar och toppar) och transportera den till mellanlagringsplatsen eller eldningsanläggningen för flisning. De erfarenheter som finns beträffande tillvaratagande av hyggesrester med manuella arbetsmetoder visar att arbetsbehovet är mycket stort i förhållande till erhållen mängd bränsle.

Ett sätt att höja produktiviteten är att tillämpa helträds- eller träddelelsmetoderna vid slutavverkningen. I figur 65 visas en variant av träddelelsmetoden. Timmerdelen kvistas, kapas och transporteras till avlägg, medan massaveds- och skogsbränsledelen lämnas kvar för torkning. Efter transport till avlägget sker sedan upparbetning till massaved och flis.

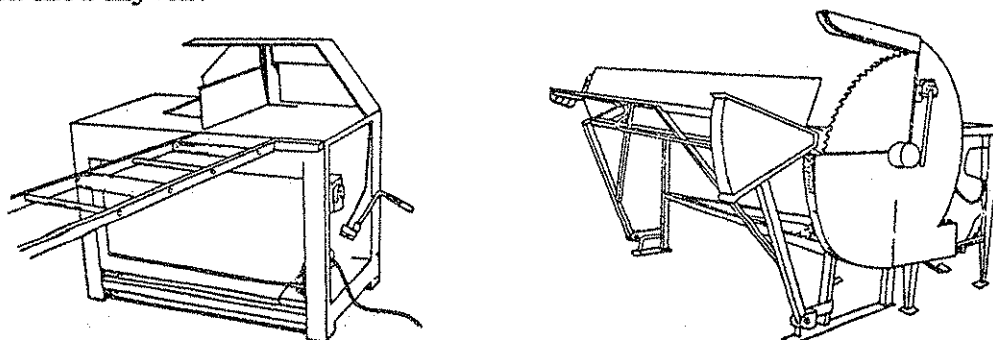


Figur 65. Exempel på tillvaratagande av skogsbränsle vid slutavverkning med hjälp av trädelsmetoden. Källa: Axenbom (red.), 1992.

## Sönderdelning

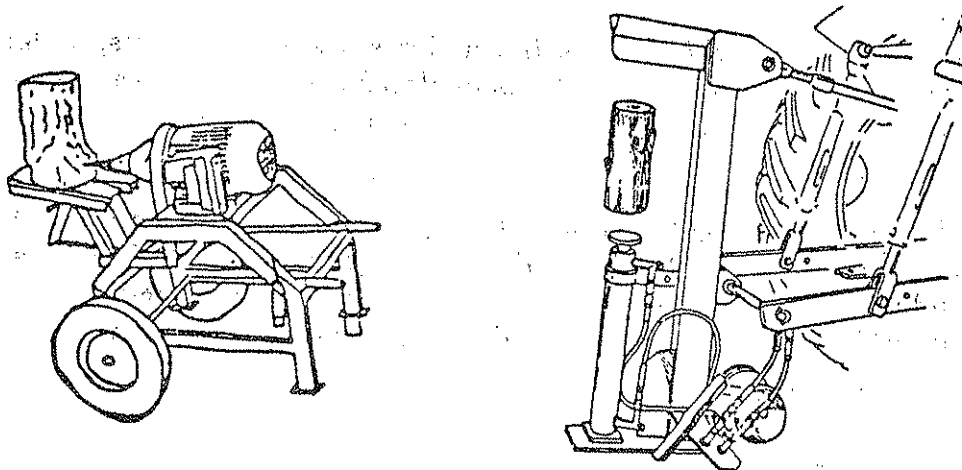
### Ved

För sönderdelning av virke till ved används vanligen vedkapar, vedklyvar eller kombinationsmaskiner. Vedkapar är utrustade med sågklinga, och virket placeras antingen på en rullbänk eller i en vagga (figur 66). Vissa modeller är även försedda med klyvar.



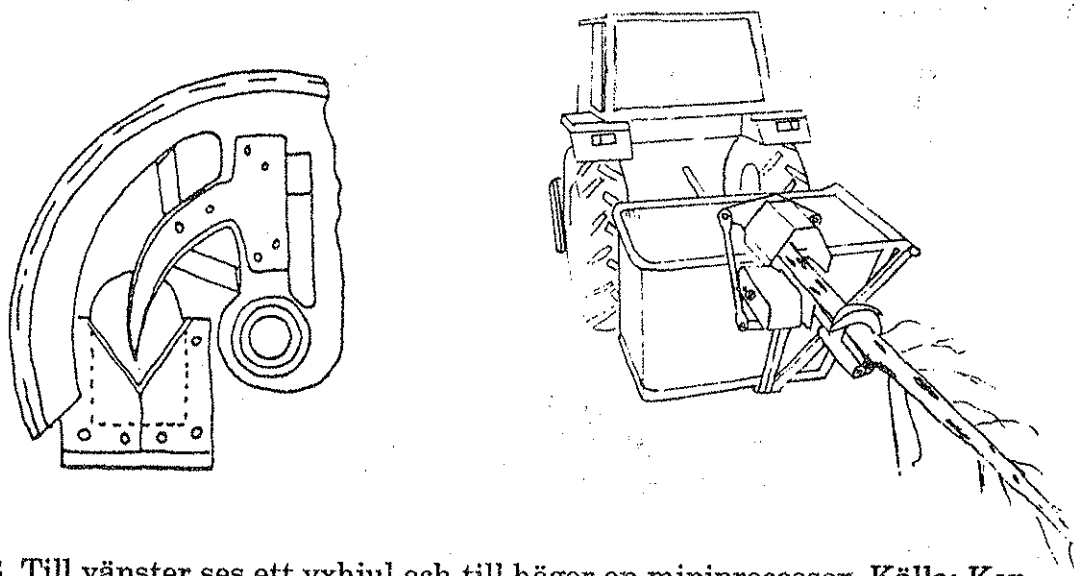
Figur 66. Vedkap med rullbänk (t v) och med vagga (t h). Källa: Konsulentavdelningen, 1986.

Vedklyvarna kan indelas i skruvklyvar och hydrauliska vedklyvar (figur 67). Skruvklyvarna består av en konisk skruv som drar sig in i virket tills klabben klyvs. Många av dessa maskiner kan dock vara farliga att arbeta med. De hydrauliska klyvarna pressar vedklabben mot en egg. Klyvningen kan ske med virket i stående eller i liggande ställning. Det finns även maskiner som kan klyva flera bitar samtidigt.



Figur 67. Maskiner för klyvning av ved. Till vänster visas en en skruvklyv och till höger en hydraulisk vedklyv med stående vedbitar. Källa: Konsulentavdelningen, 1986.

Kombinationsmaskiner är enmansbetjänade redskap som kapar och klyver i ett moment utan mellanliggande hantering. Exempel på utrustning med denna arbetsprincip är maskiner med både kapklinga och hydraulisk skruv, och "giljotineringsmaskiner", där eggen på en hydraulisk klyv även är försedd med en egg för kapning. En annan variant är yxhjulet, som drivs av traktorns kraftuttag, se figur 68. I figuren visas även en miniprocessor för sönderdelning av hela träd till brännved. Maskinen kvistar, kapar och klyver virket, som sedan samlas upp i en högtippande korg.



Figur 68. Till vänster ses ett yxhjul och till höger en miniprocessor. Källa: Konsulentavdelningen, 1986.

### Flis

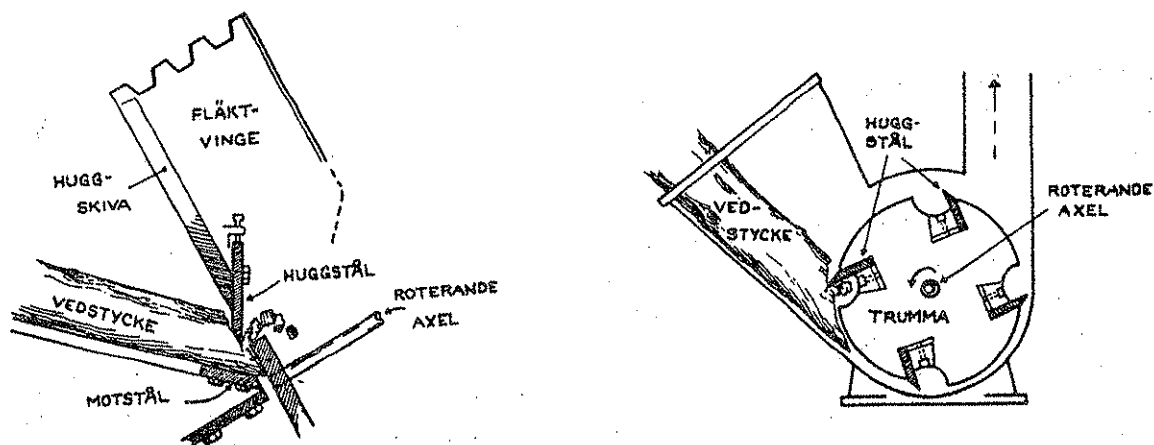
De vanligast förekommande flishuggarna kan indelas i:

- skivhuggar
- trumhuggar



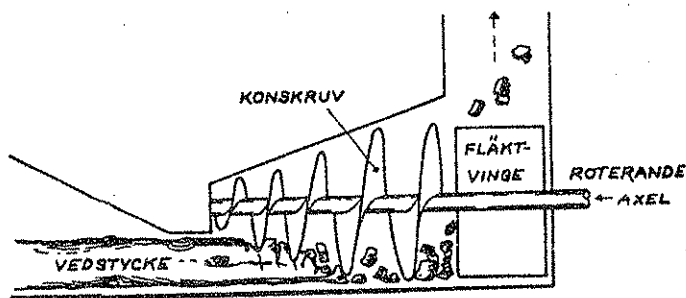
Dessa maskiner, vilka i regel är traktordrivna, brukar klara en virkesgrovlek på maximalt 20 cm. Flisstorleken kan regleras mellan 5 och 30 mm. Förutom de ovan nämnda typerna finns även grovflishuggar som klipper virket i 5-20 cm stora stycken.

Skivhuggen består av en tung roterande skiva, på vilken man placerat ett eller flera radiellt ställda huggstål (figur 69). På trumhuggen sitter två eller flera tangentiellt ställda knivar fästade på en massiv roterande trumma. Båda dessa maskiner kan utföras som självmatande eller förses med matarverk som matar in virket.



Figur 69. Principerna för en skivhugg (t v) och en trumhugg (t h). Källa: Konsulentavdelningen, 1986.

I figur 70 visas en grovflishugg som skär virket i bitar med hjälp av en konisk skruv. Maskinen är självmatande. Flisbitarna erhåller här små sprickor som underlättar torkningen.



Figur 70. Skärprincipen hos en skruvkonhugg avsedd för grovflis. Källa: Konsulentavdelningen, 1986.

## Hantering

### Transport

Transportsättet för skogsbränslen är beroende av bränslets form. Material som sönderdelas till flis på hygget eller vid avlägget transporteras med vanliga lant-

bruksvagnar eller med containrar. Vid transport till värmeverk i större skala kan befordran ske med växelflak. Brasved kan transporteras i nätsäckar, storsäckar, kartonger eller i vedkassar.

Om man väljer att flisa bränslet vid pannanläggningen måste transporten ske i form av träddeklar eller grenar och toppar. Bränslet bör då komprimeras om man ska utnyttja lastkapaciteten till fullo. Det finns idag metoder för detta. Andra tänkbara alternativ är buntning av småträd vid stickväg eller balning på hygget. Då underlättas hantering och lagring i senare led, men för den sistnämnda metoden krävs någon form av strängläggning på hygget.

### Torkning

Genom torkning höjs vedens effektiva värmevärde samtidigt som lagringsbetingelserna förbättras. I ved förekommer vattnet i form av fritt och bundet vatten. Det fria vattnet, som finns i vedens cellhåligheter, är lätt att torka bort. Det bundna vattnet mellan cellväggarnas fibrer är däremot betydligt svårare att torka bort. Vid en fukthalt på 20-25 % (fibermättnadspunkten) återstår endast bundet vatten. För ytterligare torkning krävs upphettning eller sammanpressning.

Torkningshastigheten beror på omgivningens relativa luftfuktighet och temperatur, samt lufthastigheten förbi föremålet. För att nedbringa fukthalten kan följande metoder rekommenderas:

- syrfällning
- randbarkning, vilket förbättrar uttorkningen, framförallt på rotdelen hos tall och lövträd
- lagring så att veden exponeras för vind och sol
- lagring under presenning eller dylikt som skyddar mot nederbörd

### Lagring

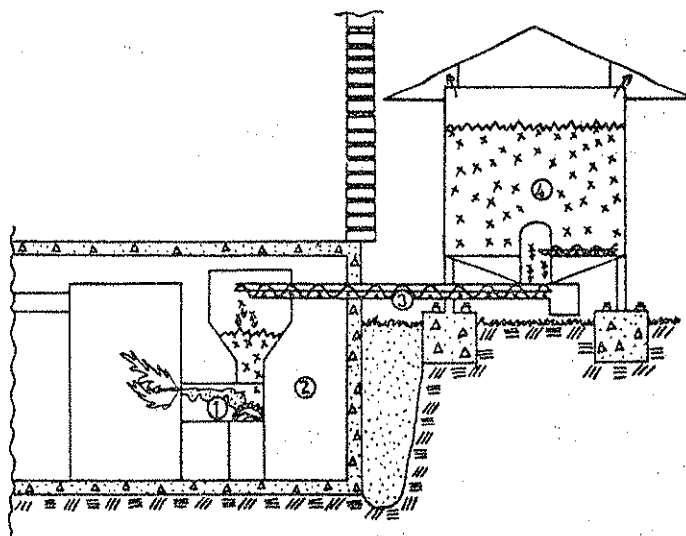
Lagring i stack eller trave innebär alltid att en nedbrytningsprocess startar beroende på närvaro av svampar och mikroorganismer. Ju större den exponerade ytan är, desto snabbare går processen. Ved, men även grovhuggen flis på 5-10 cm, har helt andra lagringsmöjligheter än flis, eftersom den exponerade ytan är liten och hålrummen mellan bitarna medger en viss ventilation.

Nedbrytningen av bränslet innebär energiförluster och tillväxt av mikrosvampar. Vid hög nedbrytningshastighet och liten luftomsättning i stackar av flis kan de mikrobiella och kemiska processerna även leda till självantändning. Stora mängder sporbildande svampar medför dessutom risk för att man kan drabbas av lungsjukdomen alveolit. Denna fara är särskilt stor vid småskalig eldning där flisen inte hanteras i slutna system. Flis från lövträd och flis med rikligt innehåll av barr och löv har större benägenhet att mögla än andra typer av flis.

Nedbrytningsprocessen börjar i stackarnas inre delar, varvid värme bildas. Detta orsakar avdunstning av vatten, som sedan rör sig mot stackens ytskikt. Här avkyls ångan och kondenserar. Detta leder så småningom till att stacken får en mycket ojämn fukthalt, med ett inre torrare parti och ett fuktigt lager ytterst.

Flis är lagringsduglig om den torkas till en vattenhalt på 15 %. Torkningen får dock maximalt ta ca två veckor, och bör utföras under försommaren. Om fukthalten är högre kan man mildra de skadliga effekterna vid lagring genom att t ex hålla flis från olika sortiment åtskilda, och att undvika packning av stacken. Flis från okvistade träd eller träddeklar med en fukthalt överstigande 35 % bör lagras högst en månad. Om flisen härrör från enbart stamved kan lagring dock ske ungefär tre månader. Observera att flis från nyfällade träd endast är lagringsduglig 2-3 veckor. Förutom artificiell torkning sker den säkraste lagringen av bränslet om den flisas i takt med förbrukningen. Detta förfarande är emellertid inte möjligt vid småskaliga system.

Lagringsbehovet för jordbruksfastigheter och villor är stort eftersom värmebehovet är störst under vinterhalvåret och anskaffningen av bränsle ofta sker under senvintern och våren. Vid nybyggnation av flislager kan man installera en fläkt och gjuta luftkanaler i golvet. Detta möjliggör kallluftstorkning under sommaren. Ett billigare alternativ är lagring utomhus under tak. Underlaget bör då vara hårdgjort för att undvika inblandning av föroreningar. Flis bör inte lagras i bostadshus eftersom sporer följer med luftströmmarna runt i huset. I figur 71 visas exempel på lagring i anslutning till pannan.



Figur 71. Placering av flislagret när pannan är belägen i källaren (1 - eldningsanläggning, 2 - pannrum, 3 - skruvtransportör, 4 - flislager). Källa: Leuchovius (red.), 1983.

### Ved eller flis?

Vilken hanteringsform ska man då välja, ved eller flis? Nedan diskuteras några för- och nackdelar med respektive metod.

Helved (5-10 dm långa bitar) och småved (1-3 dm långa bitar) kräver i regel att virket är kvistat. Kvistningen är ett riskfyllt och arbetskrävande moment som bäst utförs i samband med avverkningen. Det kvistade virket transporteras sedan till ett mellanlager för sönderdelning. Till flisning kan användas såväl kvistat som okvistat virke. Okvistat virke är svårare att hantera, men innebär lägre arbetsinsats och ett högre utbyte av råvaran.

Kapning och klyvning av ved har ett stort arbetsbehov och låg kapacitet, men kan utföras med billiga och enkla redskap. Det motsatta förhållandet anses gälla för flisning.

Beträffande lagringsmöjligheterna kan anföras att ved kräver stor arbetsinsats vid påfyllning och tömning av lagret, och att möjligheterna till automatisering av dessa arbeten är små. Å andra sidan är kraven på lagrets utformning anspråkslösa och risken för mögelbildning liten.

I jämförelse med oljeeldning fordrar ved- och fliseldning mer tillsyn och större kunskaper om förbränning. Eldning av flis går att automatisera i betydligt högre utsträckning än vedeldning, och har ofta högre verkningsgrad. Man måste emellertid skaffa en förugn (för fuktig flis) eller en stoker (för torr flis).

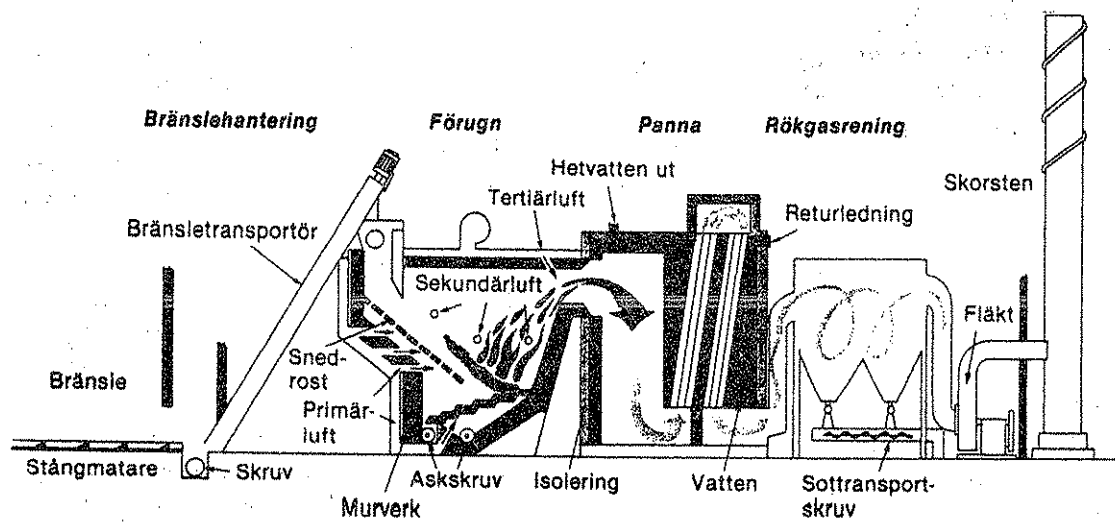
De faktorer som den enskilde fastighetsägaren värderar högst bestämmer det slutliga valet. Det är dock viktigt att man före beslutet beaktar arbetsbehovet, kapaciteten, olycksriskerna, ekonomin m m för hela hanteringskedjan.

## Förbränning

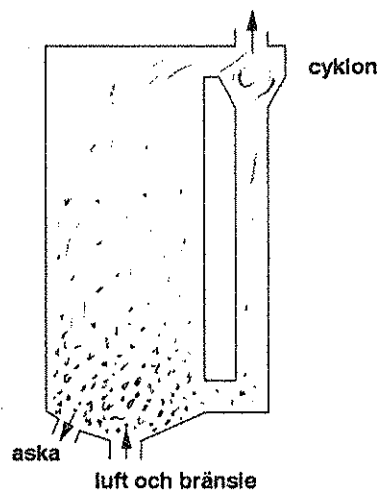
Förbränningslära, bränsleegenskaper, småskaliga eldningsanläggningar m m har behandlats tidigare i denna skrift och berörs ej här. Skogsbränsle, framförallt flis från hyggesrester, levereras i stor utsträckning till större värmeverk. I figurerna 72 och 73 visas schematiskt exempel på större anläggningar för fliseldning. Rosterpannor används ofta när effekten understiger 10 MW, medan fluidbäddpannor används i större anläggningar.

I figur 72 vilar bränslet under förbränningen på en snedrost. Primärluften tillsätts under rostret, medan sekundärluften fördelas ovanför rostret. Numera väljer man ofta pannor med rörliga snedroster, eftersom bränslefördelningen blir bättre och man minskar risken för sintring, d v s att askan smälter och bildar hårda klumpar. Om bränslet är fuktigt används vanligen en förugn, se figur 72.

Bädden i en fluidbäddpanna (figur 73) består av sand och aska. Dessa partiklar svävar genom att primärluft blåses in med hög hastighet underifrån. Bränslet, som är finfördelat, tillförs i bäddens nedre del. Förbränningen blir intensiv eftersom luftfördelningen är mycket god. De större partiklarna avskiljs i cyklonen och tillförs sedan i bäddens botten. Denna panna kan eldas med många olika bränslen, och kan regleras noggrant, vilket ger hög verkningsgrad.



Figur 72. Större flispanna med snedrost och förug. Källa: Domänverket & SSR, 1982.



Figur 73. Schematisk bild på en panna med cirkulerande fluidiserad bädd.

## Miljöaspekter

### Hur stort uttag är möjligt?

Kunskaperna om skogsbränsleuttag är bristfälliga. Det råder därför stor oenighet om vilka konsekvenserna blir för t ex ett ökat helträdsutnyttjande. Merparten av näringsämnena är koncentrerade till barr, löv och fina grenar, medan stubbar och rötter innehåller relativt små mängder. Vissa forskare ser därför positivt på ökad bortförsel av biomassa, eftersom det förmodas minska kväveläckaget, medan andra forskare vill reducera uttaget avsevärt.

Helträdsutnyttjande innebär sannolikt att skogens långsiktiga produktionsförmåga sänks. De marker som främst kan betraktas som olämpliga för uttag av helträd är lavdominerade och torra marker, samt sumpskogar. På övriga marker bör uttag av helträd aldrig ske mer än en gång per omloppstid.

Vidare anses uttag av skogsbränsle bidra till försurningen, reducera humushalten, samt ge en fattigare flora och fauna. Återföring av den basiska och näringsrika askan lindrar dock effekterna. Återföring av askan har emellertid ifrågasatts av vissa forskare, eftersom den innehåller tungmetaller (se nedan). Förbättrade avverkningsmetoder med t ex syrtorkning och avkvistning av barr, löv och smågrenar har självfallet en gynnsam inverkan. Exempel på positiva konsekvenser av skogsbränsleuttag är t ex att näringsläckaget minskar och att återbeskogningen underlättas.

### Emissioner

Förbränning av skogsbränslen ger inget nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Vidare är svavelemissionerna mycket små, vanligen mindre än 100 mg/MJ tillfört bränsle. Utsläppen av kväveoxider beror bl a på bränslets kvävehalt och förbränningsförhållandena. Skogsbränslen har låg kvävehalt, och i jämförelse med biltrafiken är emissionerna totalt sett nästan försumbara.

Skogsbränslen innehåller tungmetaller, vilka dels emitteras via flygaskan och dels binds i bottenaskan. Bränslets halt av tungmetaller beror på markinnehållet vid växtplatsen. Halterna är dock i regel högre än i olja men lägre jämfört med kol och torv. Emissionerna kan reduceras med stoftrening. Utsläppen av kolväten är starkt avhängiga av eldningsanläggningens storlek och driftsförhållanden, samt bl a bränslets fukthalt. Utsläppen begränsas enklast genom att man skapar goda förutsättningar för en effektiv förbränning.

Vedaska är starkt basisk och rik på näringsämnen. Askans relativt höga innehåll av tungmetaller begränsar dock möjligheterna att använda den som gödselmedel.

## ENERGISKOG

### Förutsättningar och tillgångar

#### Allmänt

Med energiskog avses odling av snabbväxande lövträd såsom gråal, poppel, björk, hybridasp och pil m fl. Olika arter av pil (*Salix*) dominerar, eftersom avkastningen är mycket hög och man kan skörda flera gånger utan nyplantering. Tanken att odla salix för energiändamål väcktes under 1970-talet, och forskning har sedan dess bedrivits i Sverige. Odlingens omfattning förväntas öka starkt under 1990-talet. Om de ekonomiska förutsättningarna skulle försämrats kan marken utan alltför stora svårigheter återigen tas i anspråk för traditionell jordbruksproduktion.

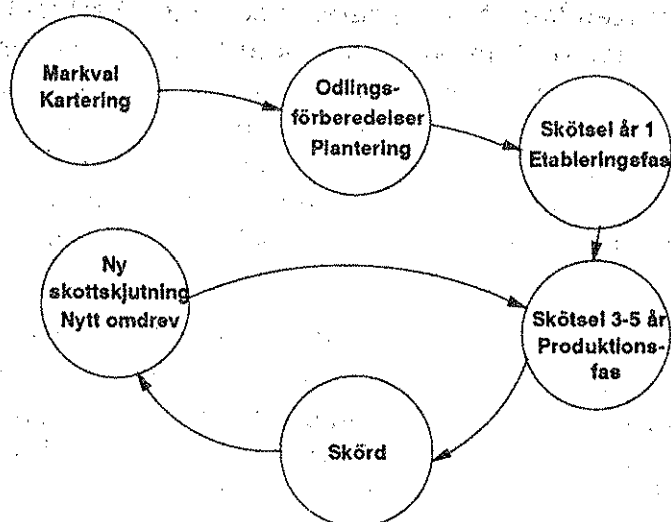
Om tjugo år bedöms den odlade arealen av salix uppgå till ca 300 000 ha, vilket skulle motsvara 15-20 TWh per år. Siffrorna är dock osäkra beroende på framtida jordbrukspolitik, tillgänglig överskottsareal, marknadsutveckling, konkurrensförmåga gentemot andra biobränslen etc. Idag omfattar odlingen knappt 4000 ha. Odling av salix klassas juridiskt som odling av jordbruksgröda, vilket innebär att inga särskilda tillstånd erfordras för plantering (undantag finns dock).

Al och poppel har också tilldragit sig ett visst intresse vid energiskogsodling. Al kan i symbios med bakterier fixera luftens kväve och tolererar relativt låga pH-värden, och odlas liksom poppel i trädform. Den största nackdelen med dessa träd är deras långa omloppstider.

#### Odling av salix

I figur 74 visas principerna för odling av salix. Under det första året planteras fältet med stamsticklingar från speciellt utvalda och kontrollerade kloner. Sticklingarna består av 20 cm långa pinnar som kapats av raka och kvistfria ettåriga stammar. Efter etableringsfasen följer 5-7 produktionscykler med skörd vart 3-5 år.

Salix behöver en lång vegetationsperiod, varför den endast bör odlas söder om Dalälven. Platser med frekventa frostnätter under vegetationsperioden skall undvikas. I Sverige odlas huvudsakligen korgpil (*S. viminalis*) och vattenpil (*S. dasyclados* m fl). Korgpilen kännetecknas av smala blad, medan vattenpilen har bredare blad.



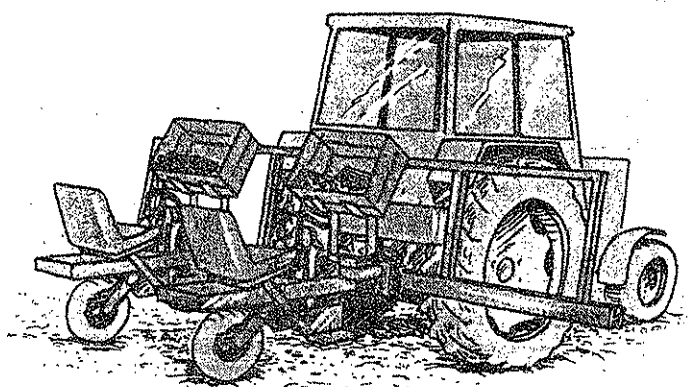
Figur 74. Omloppet vid odling av salix.

## Produktion

### Etablering

Salix trivs bäst på vattenhållande jordar med pH 5,5-6,5. En förutsättning för en lyckad etablering är att rotagräsen, t ex kvickrot och åkertistel, bekämpas. Detta sker lämpligen på sommaren eller hösten året före planteringen, liksom eventuell grundgödsling och kalkning.

Efter jordbearbetning planteras sticklingarna med ca 18 000 st per hektar. Planteringen är ett arbetskrävande moment (figur 75), men utveckling pågår för att få fram maskiner där föraren ensam kan utföra arbetet. Sticklingarna planteras i dubbelrader (där radavståndet är 75 cm) med 125 cm mellan dubbelraderna.



Figur 75. Maskin för plantering av salix. Källa: Danfors, 1988.

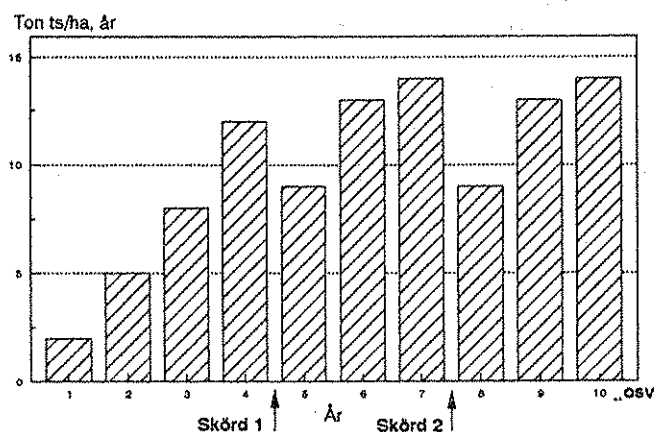


Direkt efter planteringen kan fältet sprutas med en jordherbicid. Om sprutningen utförs senare när sticklingarna utvecklat blad, bör bekämpningen ske med bandspruta eller med avstrykare mellan raderna, eftersom salixplantor är mycket känsliga för de flesta nu använda ogräspreparaten. Det kan ibland vara nödvändigt att komplettera med en mekanisk ogräsbekämpning senare under sommaren. Även olika former av marktäckning i ogräsbekämpande syfte har provats med varierande utfall. När beståndet väl slutit sig konkurreras ogräsen ut av pilens aggressiva tillväxt.

Under etableringsåret är näringsbehovet litet, och gödsling rekommenderas därför vanligen inte. Däremot kan bevattning vara befogat om sommaren blir torr. Om odlingen används för produktion av sticklingar ska plantorna beskäras under följande vinter. Beskärning av odling för bränsleproduktion flerdubblar antalet skott, men innebär samtidigt att produktionskostnaderna stiger.

### Skötsel

I figur 76 visas biomassaproduktionen i en salixodling. Under etableringsåret är tillväxten låg då rotsystemet inte har utvecklats tillräckligt väl. Påföljande år stiger tillväxten kraftigt, och efter 3-5 år skördas odlingen. Den totala produktionen uppgår då till 35-60 ton ts per ha. Året efter första skörden blir skottskjutningen mycket kraftig p g a att rotsystemet har blivit väl utvecklat.



Figur 76. Schematisk bild över produktionen i en salixodling. Källa: Sennerby-Forsse & Johansson, 1989.

Tiden mellan två skördar kallas omdrev, och omfattar vanligen 3-5 år. Utländska erfarenheter visar att produktionen avtar efter 20-25 år, d v s efter 5-7 omdrev. Denna period, d v s från plantering till uppbrytning av odlingen, benämns omloppstid. Den genomsnittliga produktionen under odlingens omloppstid bedöms vara ungefär 12 ton ts per ha och år.

För att ersätta den biomassa som förs bort med stamveden, måste odlingen gödslas varje år. När beståndet etablerat sig är det årliga kvävebehovet 60-80 kg N/ha. Hänsyn har då tagits till kvävetillförseln via bladens mineralisering och återcirkulation. Dessutom bör odlingen gödslas med fosfor och kalium efter varje

skörd. Tillförsel av näring kan ske i form av handelsgödsel, aska eller slam. Året efter skörd sprids gödseln med konventionell teknik, medan man måste använda högspridande utrustning övriga år.

Odlingen utsätts för skördenedsättande faktorer såsom svampar, insekter, torka, frost samt betes- och gnagskador. De allvarligaste svampangreppen härrör från bladrost, men även angrepp av skorv och stamkräfta har förekommit. Insektsskadorna orsakas främst av bladbaggar, bladlöss och gallmyggor. I salixodlingar finns dock ett flertal rovinsekter och parasiter som hämmar skadeinsekterna. Utveckling av resistent kloner kan minska skadorna i framtiden. Kemisk bekämpning utförs ej, bl a beroende på att skadornas omfattning varit relativt liten i försöksodlingarna, och att bekämpning med nuvarande metoder i praktiken är ogenomförbart.

Salix kräver mycket vatten och bör därför ej planteras där det är risk för torka. Odlingen är speciellt känslig under etableringsåret. För att undvika frostsador bör man undersöka områdets frostbenägenhet före plantering, samt avstå från att gödsla med kväve sent på året, vilket annars försenar odlingens invintring.

Älgar, rådjur och harar kan ge stora skador på nyetablerade odlingar. Uppvuxen och tät odling betas dock bara längs kanterna. Vattensork och åkersork kan er-hålla en tilltalande miljö i energiskogar, men angreppen inskränker sig vanligen till mindre gnagskador på rötter och stammar.

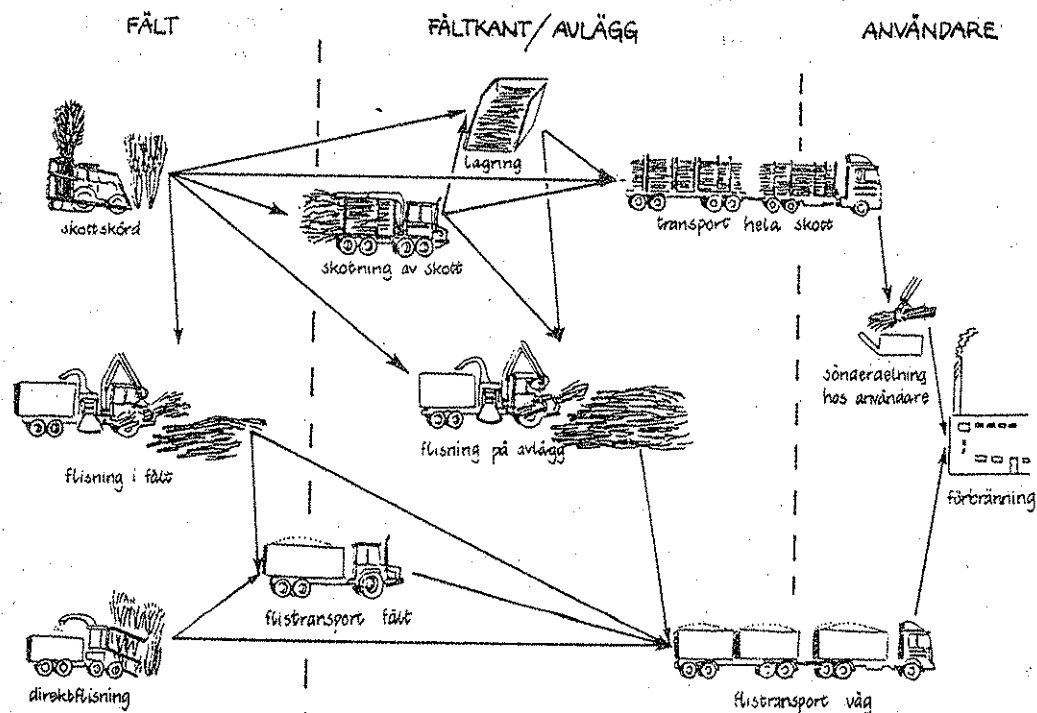
### Skörd

Efter 3-5 års tillväxt har skotten passerat tidpunkten för sin maximala tillväxt. Stammarna har då hunnit bli 5-7 m höga och i genomsnitt 3-5 cm grova i bröst-höjd. Skörden sker under tiden december - mars. Löven har då fallit av, och man kan utnyttja tjälen för att undvika packningsskador. Skörden bör ej utföras se-nare än i mars, eftersom man annars riskerar att hämma den efterföljande skottskjutningen.

Skörden och flisningen utgör den största enskilda kostnadsposten vid energi-skogsodling. Det är således viktigt att dessa moment sker rationellt med en väl fungerande arbetsorganisation. Utveckling av nya skördesystem har därför hög prioritet.

I figur 77 visas olika system för skörd och hantering av salix. Vid skottskörd har man hittills använt en maskin som skördar en rad i taget (figur 78). Stammarna kapas med cirkelsåg och samlas ihop buntvis på en plattform bak på traktorn. Vid fältkanten tippas sedan buntarna i en vält.

Numera finns även maskiner för direktflisning, t ex ombyggda majshackar. Di-rektskördad flis bör levereras direkt till värmeverket såvida den inte torkas. Skördemaskinerna är, liksom transportfordonen, stora ekipage som kräver väl tilltagna utrymmen och solida vägar.



Figur 77. Olika system för skörd och hantering av salix. Källa: Sennerby-Forsse & Johansson, 1989.



Figur 78. Skörd med skottskördare. Källa: Danfors, 1988.

## Hantering

### Transport

Salix transporteras i form av hela skott eller flis, se figur 77. För kortare sträckor kan man transportera skotten med skotare, medan man vid längre avstånd kan använda t ex timmerbilar. Vid det senare fallet krävs dock att skotten pressas samman om man ska utnyttja hela lastkapaciteten.

Flis som produceras på fältet eller vid fältkanten transporteras ofta med containrar. Ibland begagnas även enklare fordon, t ex om lastningen sker vid terminal.

### Lagring

Vid skörd av salix är fukthalten ungefär 50 %. Lagring av skotten i vält till påföljande höst medför att fukthalten sjunker till 20-30 %. Om lagringsbetingelserna är goda blir substansförlusterna små (ca 7 %). Efter flisning är detta bränsle sedan användbart där man önskar elda med torrare bränslen.

Lagring av otorkad flis i stackar är ej tillrådligt, eftersom substansförlusterna blir ansevärliga och det finns stor risk för bildning av hälsovådliga mikrosvampar. Dessutom kan den bildade värmen ge upphov till självantändning. I stackens centrum bildas ett torrare parti, medan ytskiktet får hög fukthalt. Stackens genomsnittliga fukthalt sjunker dock obetydligt. Däremot är torkad flis (<15 % fukthalt) lämplig för lagring.

### **Förbränning**

Det kalorimetriska värmevärdet för salix är omkring 19,5 MJ/kg ts. Ett ton torrsubstans av 3-årig salixved motsvarar volymerna 2,7 m<sup>3</sup>f eller 6,7 m<sup>3</sup>s. Salix som direktflisas (f=50 %) har ett effektivt värmevärde på 4,5 MWh/ton ts, medan motsvarande värde för skott som lagrats en sommar (f=30 %) är 4,9 MWh/ton ts. Askhalten är låg (1 % av ts), liksom svavelhalten (0,03 % av ts).

De fysikaliska egenskaperna varierar mellan olika pilarter. Allmänt sett ökar dock vedens densitet med stigande skottålder, varvid fukthalten och andelen bark minskar (tabell 12).

Tabell 12. Fysikaliska egenskaper hos pil vid olika skottålder. Värdena gäller vid skörd under november-mars (Källa: Sennerby-Forsse & Johansson, 1989)

Ålder (år)	Torr-rådensitet (kg/m <sup>3</sup> )	Fukthalt (%)	Barkandel (%)
1	325	58	40
3	370	50	35
5	410	47	25

Förbränningsteknik, övriga egenskaper som bränsle m m, är liknande dem som gäller för flisade skogsbränslen.

### **Miljöaspekter**

Miljökonsekvenserna vid odling av energiskog är avhängiga av bl a odlingens utformning, intensitet och lokala placering. Vid intensiva produktionsmetoder är växtnäringsläckaget under etableringsfasen jämförbart med andra jordbruksgrödor. När rotsystemet blivit välutvecklat är läckaget mindre. Energiskog förbrukar stora mängder vatten och håller marken hela tiden bevuxen, vilket innebär att kväveläckaget troligen är mindre än vid konventionell odling.

Energiskog återför årligen 7-9 ton torrsubstans organiskt material till marken i form av blad och rötter, vilket är mer än vad som återförs vid t ex spannmålsodling. Dessutom är jordbearbetningen nästan obefintlig. Odling av energiskog förväntas därför öka markens humushalt. Å andra sidan orsakar odling av energiskog lika stor markförurning som andra jordbruksgrödor. Basiska gödselmedel och återförande av askan kan dock reducera kalkningsbehovet (Andersson, 1990).

Markfaunan gynnas vid odling av energiskog; främst p g a minskad jordbearbetning, men även tack vare ackumulation av organiskt material. Även älg, rådjur och hare gynnas, eftersom odlingen erbjuder såväl föda som skydd. Fågelarter såsom fasaner, kärrsångare, trädgårdssångare, koltrastar m fl ökar starkt i antal, medan t ex tofsvipor och järnsparvar missgynnas. Inga påtagliga förändringar av antalet smågnagare har konstaterats.

I intensivodlade bestånd är floran sparsam. I extensiva odlingar blir artsammansättningen rikare med kraftig dominans av de vanliga "ogräsen". En del mindre vanliga arter som hör hemma i skogar och kärr kan även uppträda.

Odling av energiskog förändrar landskapets utseende. Huruvida denna förändring är positiv eller negativ är naturligtvis en subjektiv bedömning. Odlingar bör dock ej anläggas så att värdefulla historiska eller kulturella miljöer går förlorade, eller så att trafiksäkerheten försämras.

Beträffande emissioner, aska m m hänvisas till tidigare kapitel.

## HALM

Halm har ibland betraktats som något nödvändigt ont i spannmåls- och oljeväxtodlingen. Efter den första oljekrisen 1973 vaknade emellertid intresset för halm som bränsle. Danmark blev ett föregångsland, där bl a politiska beslut ledde till en ökad satsning på halm som bränsle. Här används halm numera i pannor dels på gårdsnivå, och dels i fjärr- och kraftvärmeverk. I Sverige rönt halmeldningen ett svalare intresse, främst beroende på att oljan blev billigare igen, men även p g a att eldningsutrustningen fungerade dåligt. Sedan förbränningstekniken förbättrats har intresset åter ökat.

### Förutsättningar och tillgångar

Halm definieras som de ovanjordiska växtdelar som återstår då kärnor eller frön borttagits från stråsäd, oljeväxter, baljväxter och gräs. Halmen består av strå, blad, stubb samt de delar som omger kärnorna (agnar, boss m m). Vid halm-bärgningen kvarlämnas en del på fältet, eftersom all halm av tekniska skäl inte kan samlas upp. Detta "spill", t ex stubb, agnar och mindre delar av strå och blad, utgör mellan en tredjedel och hälften av den totala halmproduktionen.

Tidigare utförda beräkningar visar att den tillgängliga mängden halm för energiproduktion uppgår till tre miljoner ton per år. Här har man då räknat med att man kan skörda upp till två ton per ha spannmål och år utan att riskera markens framtida bördighet. Detta skulle motsvara 12 TWh per år, eller mer än en tiondel av Sveriges energibehov för uppvärmning.

Hösten är en mycket bråd tid för lantbrukarna. I Mellansverige, där tiden mellan skördetröskning och höstbruk är starkt begränsad, kan det därför under blöta och sena höstar vara omöjligt att bärga halm. I södra Sverige är förutsättningarna för bärgning av halm betydligt bättre. Minskad spannmålsareal, ökad användning av halm inom djurhållningen, samt det faktum att alltmer halm hackas på vändtegarna, innebär att produktionspotentialen har minskat.

Rön från Västergötland visar att 0,5 ton halm per ha spannmål är en rimlig uppskattning av halmskörden. Det är främst tillgänglig tid för bärgning som är den begränsande faktorn. En trolig produktionspotential av bränslehalm är därför 500 000 ton/år, vilket motsvarar 2 TWh/år (Axenbom (red.), 1992).

### Bärgning

Halm kan bärgas som småbalar, rundbalar, rektangulära storbalar (högdensitetsbalar), hackelse, briketter eller lös långhalm. De två sistnämnda bärgningsmetoderna tillämpas f n inte i Sverige. Fältbrikettering innebär att halmen pressas till briketter redan på fältet. Härvid erhålls en hanterbar bulkvara med hög densitet på ett tidigt stadium i hanteringskedjan. Denna metod är dock ännu på försöksstadiet. I tabell 13 visas kapaciteter och resulterande materialformer för de olika bärgningssystemen.

Tabell 13. Fakta om olika system för bärgning av halm (Källa: Nilsson, 1991)

	småbal	rundbal	högdens.bal	hackelse	fält- brikett
Balmått, cm <sup>3</sup>	46x36x100	120xØ90-180	120x130x250	-	-
Absolut densitet, kg/m <sup>3</sup>	90-100	100-110	130-160	-	500-600
Skrymdensitet, kg/m <sup>3</sup>	70-90	70-90	120-150	40-70	300-350
Presskapacitet, ton/h	4-6	4-6	10-14	3-6	3-5
Arbetsbehov, manmin/ton <sup>1)</sup>	40-50	20-25	12-16	20-40	12-25

<sup>1)</sup> Gäller fram till säsongslagret

Småbalar har varit den mest använda hanteringsformen för halm. Balarna kan hanteras överallt med eller utan tekniska hjälpmedel, och de kan lagras där det är svårt att utnyttja platskrävande teknik. Arbetsbehovet är dock stort, och det krävs ofta en väl fungerande organisation vid bärgningen. Vid tillvaratagande av halm eftersträvas ofta maskinella och automatiska system. Småbalar är därför endast intressanta vid småskalig förbränning.

Bärgning med rundbalspress kan utföras i två av varandra oberoende arbetsoperationer. De dagar då vädret är lämpligt, pressas halmen med hög kapacitet. Insamling och transport kan sedan utföras av en person vid passande tidpunkt. Andra fördelar är att pressen har relativt låg vikt och tolererar något högre vattenhalter, samt att den kan utnyttjas för andra ändamål, t ex för ensilering.

Högdensitetsbalarnas dimensioner gör dem lämpliga för hantering med traktor, och medger stapling vid transport och lagring med högsta möjliga volymsutnyttjande. Presskapaciteten är hög samtidigt som arbetsbehovet är lågt. Investeringskostnaden är emellertid ansevärd, varför denna maskin mest är aktuell för större användare, t ex maskinstationer. Bärgningen med högdensitetspressar är känslig för driftsavbrott, eftersom det är ett fåtal maskiner som ska utnyttjas maximalt under kort tid. Med den teknik som finns idag är denna metod den mest passande för storskalig bärgning.

Kapaciteten vid bärgning med fälthack är starkt beroende av transportavståndet. Dessutom kan lagringskostnaden bli hög. Denna metod ger dock möjligheter till automatisering vid pannan.

## Hantering

### Transport

Halm är ett skrymmande bränsle, och den maximala lastkvantiteten vid transport begränsas ofta av fordonets volymkapacitet. Transporterna sker vanligen med traktortåg eller lastbil. Beräkningar visar att traktortransporter av balad halm är billigast om transportavståndet understiger 30-40 km (Kristensson &

Axenbom, 1991). Detta beror på att lastbilstransporter har höga fasta kostnader och låga rörliga kostnader, medan det omvända förhållandet gäller för transport med traktor.

Rundbalarnas runda form medför att skrymdensiteten blir relativt låg. Vid transport är det viktigt att man väljer lämpliga mått på lastfordonen och balarna, samt använder den mest fördelaktiga stuvningsgeometrien. Genom att optimera dessa faktorer kan man uppnå ett högt utnyttjande av tillgänglig lastkapacitet.

De rektangulära storbalarnas form och höga densitet gör dem mer lämpade för transport och lagring. Om balarnas bredd, längd och höjd utgör en hel multipel av lastflakets mått, kan transportkapaciteten bli mycket hög. En annan fördel är att på- och avlastning kan ske rationellt med maskinella hjälpmedel.

Om småbalar ska transporteras längre sträckor bör de staplas, eftersom ostaplade balar utnyttjar lastvolymen dåligt. Transport av hackelse bör endast ske korta sträckor, eftersom transportkapaciteten är låg. Det motsatta förhållandet gäller för förädlade produkter såsom briketter och pelletter, där transporterna med fördel görs med lastbil.

### Lagring

Lagring utomhus utan täckning är den billigaste, men mest riskfyllda lagringsmetoden. Om balarna staplas mycket högt drabbas en mindre andel balar av nederbörd. Ett säkrare lagringssätt är lagring under plast eller presenning. För lagring av rundbalar i pelarstack finns ändamålsenliga presenningar framtagna. Det går även utmärkt att lagra halm i stolplador.

Den mest tillförlitliga lagringen sker inomhus i befintliga ekonomibyggnader eller maskinhallar. Vid nybyggnad av hall kan det vara tillrådligt att göra lagret luftningsbart med nedgrävda kanaler och körbart ribbgolv. Detta innebär att halmen luftkonditioneras och torkar i någon mån.

### Förädling

Halm kan förädlas genom tillverkning av briketter, pelletter eller pulver. Dessa processer ger högre densitet och förenklar hanteringen vid transport, lagring och förbränning. Andra fördelar är att man kan elda i billigare pannor, samt att högre verkningsgrad uppnås vid förbränningen.

Nackdelen är att det tillkommer ytterligare ett hanteringsled som kräver arbetskraft och maskinell utrustning. Den tillförda energimängden i hanteringskedjan ökar, och priset på den färdiga produkten stiger.

De olika bränslen som erhålls vid förädling definieras enligt:

Bränslebrikett - rektangulär eller cylindrisk platta avsedd för eldning och framställd genom pressning av finfördelat material. Brikettens diameter eller bredd är större än eller lika med 25 mm.



Bränslepellett - kort cylinder avsedd för eldning och framställd genom pressning av hackat, malet eller pulvriserat material. Pellettens diameter understiger 25 mm.

Bränslepulver - bränsle som malts så att huvuddelen av materialet har partikelstorlekar mindre än 1 mm.

I tabell 14 görs en jämförelse mellan pelletter och briketter. Pelletter tillverkas i matrispressar, vilka kräver ett mer finfördelat material. Detta medför att energiförbrukningen stiger. Beräkningar visar dock att energibalansen för pellettering av halm är god. Energibehovet utgör mellan 5-10 % av halmens energiinnehåll (direkt och indirekt hjälpenergi för hela hanteringskedjan). Pelletter kan transporteras med hjälp av luft, och kan därmed distribueras i helt slutna bulkvarusystem. Vid eldning i villapannor kan distribution ske med tex storsäckar.

Tabell 14. Jämförelse mellan pellettering och brikettering (Källa: Wilén et al, 1984)

	Pellettering	Brikettering
Bränslets vattenhalt, %	10-20	10-15
Max kapacitet hos pressar, ton/h	4-6	1-1,5
Energiförbrukning, MJ/ton	220-290	140-180
Krav på råmaterial	Finfördelat	Längre halm kan användas
Angående förbränning	Anläggningen kan automatiseras	Kan eldas i samma pannor som stycketorv och ved

Briketter kan eldas i samma pannor som används för stycketorv och ved. Råmaterialet behöver inte vara lika finfördelat, men briketter kräver ett något snävare vattenhaltsintervall än pelletter vid tillverkningen.

## Förbränning

### Egenskaper som bränsle

Halmens fukthalt bör vara högst 18 %. Om fukthalten är högre kan det uppstå problem vid inmatningen i pannan, och dessutom sjunker halmens effektiva värmevärde. Överstiger fukthaltan 20-22 % kan halmen knappast betraktas som lagringsduglig.

Halmens effektiva värmevärde kan beräknas enligt (Axenbom, 1991):

$$W_{eff} = 17,35 - 0,198 \cdot f \quad (MJ/kg \text{ bränsle})$$

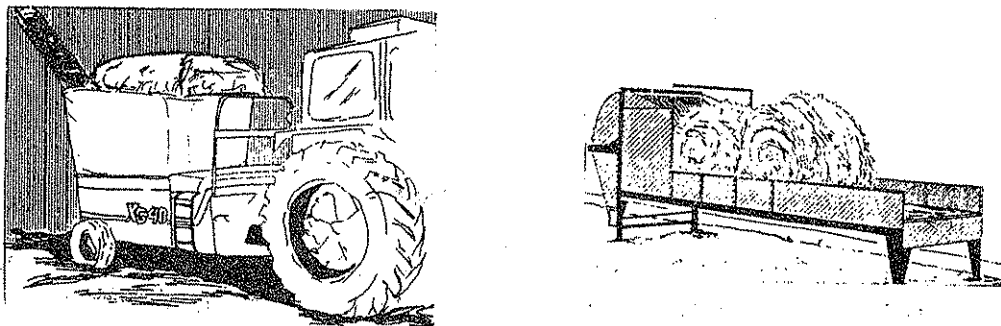
Halm har en hög andel flyktiga ämnen (75-85 % av ts) och hög askhalt (3-5 % av ts). Utmärkande för halmaskan är dess låga smälttemperatur (900-1400°C),

vilket kan ge problem med sintring. Å andra sidan vill man ha så hög temperatur som möjligt ( $>800^{\circ}\text{C}$ ) för att förbränna det fasta kolet i bränslet. Askans temperatur måste således hållas inom ett ganska snävt intervall. Aska från raps-halm har högre smältpunkt än aska från spannmålshalm.

Halm har stor specifik yta, begränsade flytegenskaper och stor benägenhet att bilda valv. Dessa egenskaper, som förvärras med stigande vattenhalt, medför svårigheter vid transport och inmatning i pannan.

#### Hantering från lager till panna

De största problemen vid halmeldning uppstår ofta vid sönderdelningen. Lindning eller främmande föremål kan t ex orsaka driftsstopp och brandtillbud. Sönderdelningen kan ske med antingen snabbgående hackar eller långsamgående rivare, se figur 79.

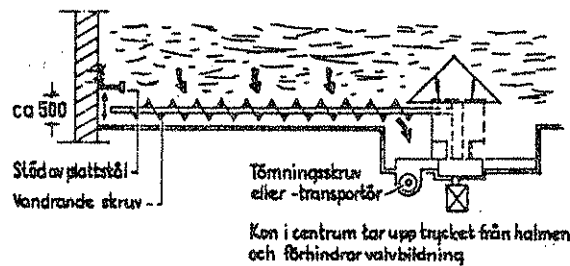


Figur 79. Traktordriven halmhack för storbalar (t v), och eldriven halmrivare för storbalar (t h). Källa: Nilsson et al, 1988.

Sönderdelning med hack sker oftast under tillsyn. Halm för en viss tids förbrukning hackas och lagras sedan i t ex en silo nära pannan. Kapaciteten bör vara hög, och hackelselängden i intervallet 30-60 mm. För långa strån ger problem med valvbildning och stopp i skruvar, samt ojämn bränsletillförsel p g a oregelbunden matning.

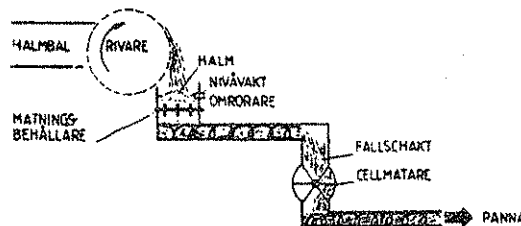
Mellanlagring av korthackad halm sker lämpligen i silor. För att undvika hängning och alltför stor packning, bör höjden understiga 6 m, och diametern vara  $1/3$  av höjden. Det uttagningssystem som fungerat bäst är den vandrande skruven, se figur 80. Skruven förflyttar sig runt i silon och för halmen till ett schakt i mitten, där den transporteras vidare med en annan skruv eller transportör (Nilsson et al, 1988).

Långsamgående rivare används där halmen sönderdelas i takt med förbrukningen. Strållängden blir här längre än vad som är fallet vid hackning. Det kan uppstå problem med t ex ojämn bränsletillförsel och lindning i skruvar och kring axlar, vilket kan orsaka bränder. En annan svårighet är driftsäkerheten och kapacitetsregleringen. Rivaren ska starta när panntermmostaten kallar på värme, och sedan mata pannan med ett jämnt flöde så länge behov föreligger.



Figur 80. Vandringskruv i silo. Källa: Nilsson et al, 1988.

För att förhindra tillbakabrand från panna till lager, kan ett fallschakt eller en cellmatare installeras (figur 81). Oberoende av i vilket läge cellmataren står, är alltid några av cellvingarna i kontakt med väggen. Rök och eld får därmed svårare att tränga förbi och sprida sig.



Figur 81. Fallschakt och cellmatare som bryter kedjan bakåt från pannan, varvid spridning av brand förhindras. Läggs även märke till matningsbehållaren efter rivaren, som fungerar som ett mellanlager. Risker är dock stora för hängning och stopp i behållaren. Källa: Nilsson et al, 1988.

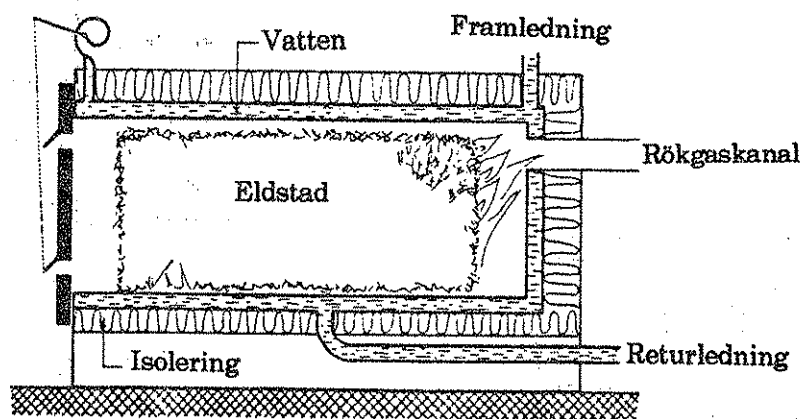
Om halmen eldas som balar sker hanteringen enklast med lastare. För småbalar kan en balbana fram till pannan dels fungera som mellanlager, och dels som frammatningsanordning om man ej kommer fram med traktor. Beakta dock alltid brandskyddsföreskrifterna!

## Pannor

Rosterpannor dominerar vid förbränning av halm. Pannor för småskalig förbränning kan indelas i:

- manuellt matade pannor (småbalar och storbalar)
- pannor med automatisk inmatning (hackelse, briketter, småbalar och storbalar)

I figur 82 visas en manuellt matad panna med överförbränning. Förbränningen äger här rum i hela eldstaden samtidigt. Balarna fylls på genom en lucka. Detta system har tidigare varit det förhärskande vid halmeldning. Förbränningen blir emellertid ineffektiv och ofullständig, vilket medför låg verkningsgrad och stora emissioner. På moderna pannor kan man delvis bemästra dessa problem genom noggrann reglering av t ex lufttillförseln. Man kan dock få problem med fuktvandring, vilket medför att balens kärna blir fuktig och inte brinner upp.



Figur 82. Manuellt matad magasinspanna för halm. Källa: Videntretet for halm- og flisfyring, 1987.

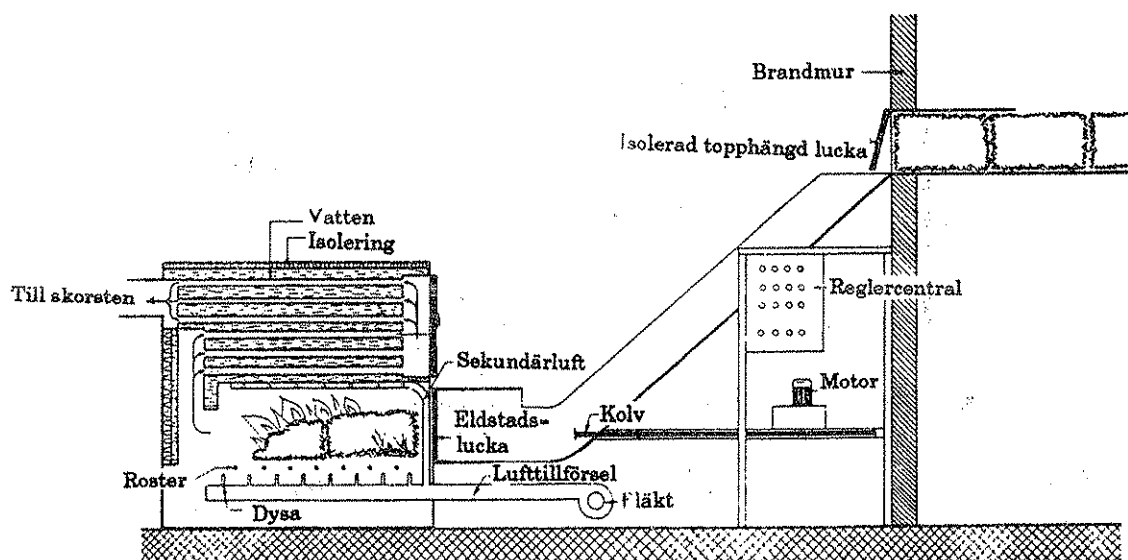
Pannor med automatisk matning kan vara utrustade med:

- skruv
- pneumatisk matning
- rutschbana
- kolvmatning;      lös halm
- skivor
- cigarrmetoden
- hela balar

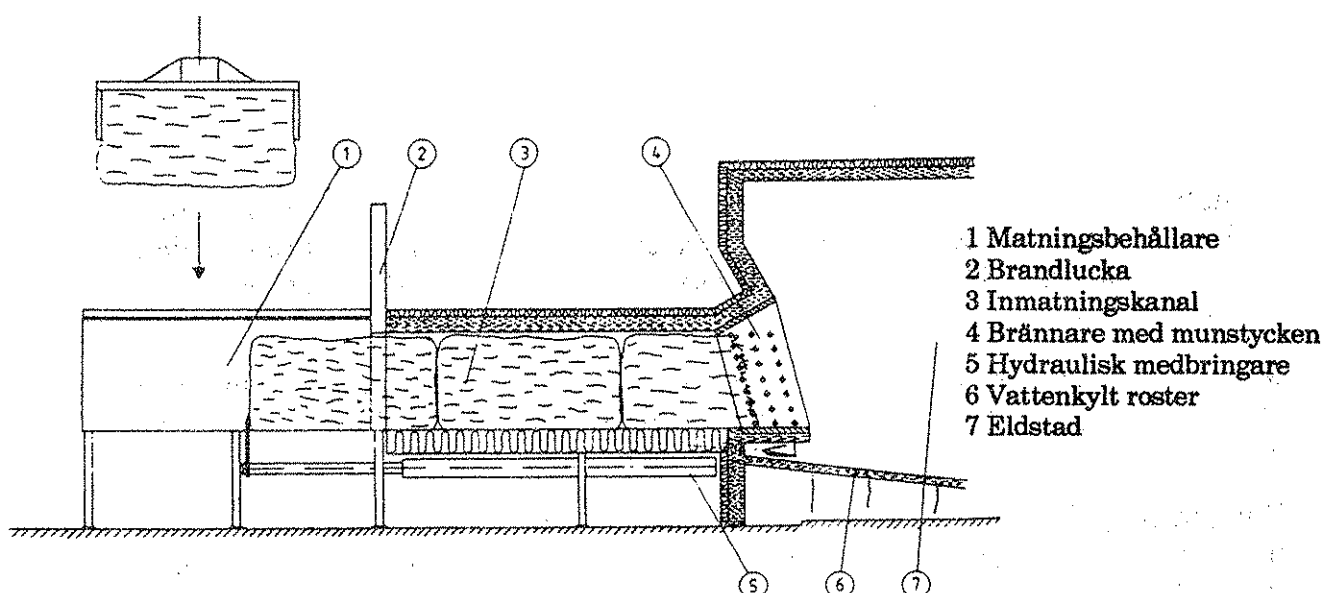
I mindre pannor används nästan uteslutande skruvar för matningen. Det kan dock bli driftsstörningar om halmen är långstråig och fuktig. Dessutom är det svårt att erhålla en jämn matning. Pneumatisk matning med fläkt är mest aktuell i större anläggningar.

Med hjälp av en rutschbana låter man balen glida nedför ett lutande plan, varvid luckan öppnas. Man kan även öppna eldstadsluckan med hjälp av en kolv (figur 83).

Kolvmatning av skivor kan användas där halmen bärgas som rektangulära storbalar. Dessa balar pressas ihop som skivor, och vid sönderdelningen av balarna faller skivorna ut som mindre block. Cigarrmetoden (figur 84) innebär att rektangulära storbalar kontinuerligt skjuts in i pannan av en kolv. Slutligen förekommer även kolvmatning av hela balar. De tre sistnämnda metoderna är främst anpassade för större pannor.



Figur 83. Automatisk matning av småbalar med hjälp av ett lutande plan. Källa: Videncentret för halm- og flisfyring, 1987.



Figur 84. Principbild av utrustning för kontinuerlig förbränning enligt cigarrmetoden. Källa: Axenbom, 1991.

## Miljöaspekter

Bortförsel av halm berövar marken mullråämnen, och kan ge allvarliga skador på jordar med låg mullhalt. På kreaturslösa spannmålgårdar med strukturskador i marken bör man återföra all halm till jorden. På jordar med normal mullhalt (3-5 %) kan halmen bortföras någon gång i växtföljden utan större men. Odling av mellangrödor, t ex insådd av vallväxter i spannmålen, torde ge större utsikter att ur mullhaltssynpunkt bärga mer halm (Andersson, 1990).

Rökgaserna från halm innehåller stora mängder stoft; det har uppmätts mellan 300 och 2000 mg/nm<sup>3</sup>. Enligt Naturvårdsverkets riktlinjer ska utsläppen uppgå till högst 350 mg stoft/nm<sup>3</sup> för pannor utanför tätort (Nilsson et al, 1988).

Halmens innehåll av svavel är mycket litet, varför utsläppen av svaveloxider är ringa. Eftersom kväveoxider till viss del bildas vid mycket höga temperaturer, utgör de inget större problem vid halmeldning, eftersom det ej är önskvärt med alltför höga förbränningstemperaturer.

Polyaromatiska kolväten (PAH) är mycket hälsovådliga, eftersom de bl a anses vara cancerogena. Vissa mätningar tyder på att utsläppen kan uppgå till 1,3-3,6 mg PAH/MJ tillfört bränsle. En bra panna med effektiv förbränning minskar utsläppen av kolväten.

Halm innehåller mycket klor, som vid förbränning dels kan ge korrosionsproblem, och dels bilda dioxiner. Halten dioxiner i rökgaserna tycks vara relaterad till förbränningens effektivitet.

Halmaskans rika innehåll av näringssalter och höga pH-värde (11-13) gör den intressant som gödselmedel. En giva på 2,5 ton/ha tillgodoser medelbehovet av fosfor, kalium och kalcium för en spannmålsgröda, samt motverkar försurningen. Innehållet av tungmetaller, t ex kadmium, blir då mindre än vad som skulle tillföras via konventionella handelsgödselmedel.

Beträffande arbetsmiljön vid hantering av halm, ska nämnas att damm, mögelsporer och vissa bakterier kan ge allvarliga skador. Om man andas in stora mängder mögelsporer riskerar man att drabbas av lungsjukdomen alveolit (lantbrukslunga eller tröskdammlunga). Vid exponering under lång tid kan man insjukna i allergisk alveolit, som ger överkänslighet mot damm. Riskerna kan elimineras om lagringsbetingelserna är goda, samt om halmen hanteras i slutna system.

## ENERGIGRÄS

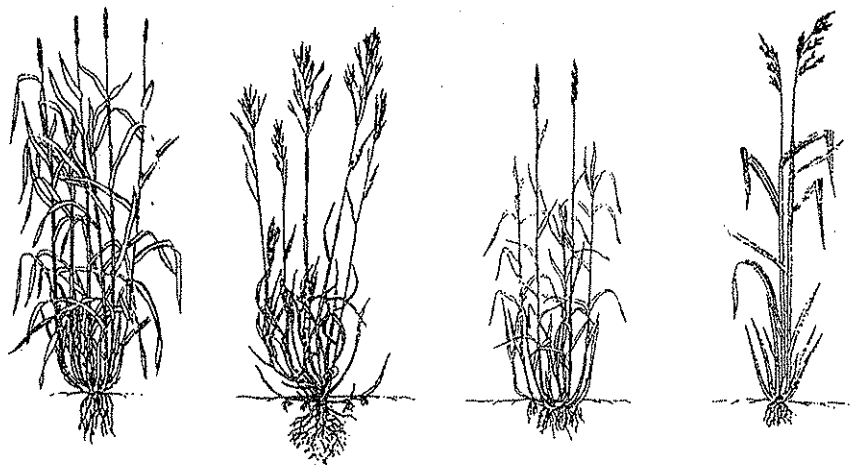
### Förutsättningar och tillgångar

Odling av energigräs innebär att man odlar olika gräsarter för produktion av t ex fastbränslen eller biogas. Odlingen skiljer sig inte nämnvärt från odling av vallfoder, förutom att skördetidpunkten och artsammansättningen är annorlunda. Energigräs kan generellt sett odlas på all åkermark, och produktionspotentialen bestäms därför utifrån dess ekonomiska konkurrenskraft. Beräkningar visar dock att lönsamheten är sämre än för odling av t ex Salix.

I Norrland är utgångsläget något bättre eftersom salixodling här är mindre intressant. För att undvika skogsplantering på överskottsarealen är odling av energigräs ett tilltalande alternativ. Vissa uppskattningar visar att odlingsarealen skulle kunna uppgå till 200 000 ha i Norrland.

### Produktion

Vid Sveriges lantbruksuniversitet har man provat fyra arter för odling av energigräs: timotej, foderlostä, rörflen och rörsvingel (figur 85). I Danmark och i södra Sverige har även elefantgräs kommit ifråga. Detta gräs ger mycket hög avkastning, men har sämre hårdighet och måste dessutom planteras vid etableringen.



Figur 85. Timotej, foderlostä, rörflen och rörsvingel är intressanta för energiodling. Källa: Tuveßon, 1989.

Rörflen har tilldragit sig det största intresset då avkastningen vid olika försök varit mycket hög; 11-12 ton ts per hektar. Vid praktisk odling är dock odlingsbetingelserna sämre och förlusterna större, varför man kan räkna med 5-7 ton ts per hektar. Det högre värdet gäller vid sommarkörd.

Rörflen trivs bäst på fuktiga marker, men ger god avkastning även vid odling på torrare jordar. Gräset är högvuxet och påminner i senare utvecklingsstadier om vass. Man bör så det i rena bestånd eftersom dess konkurrensförmåga är dålig vid etableringen. Förökningen sker sedan med underjordiska utlöpare, och efter några år är det mycket aggressivt mot ogräset, varför odlingen i princip kan vara

permanent. Vinterhårdigheten är mycket god, och rörflen kan därför med fördel odlas i Norrland. Vidare tål gräset höga givor av kväve utan att lägga sig, och har god motståndskraft mot sjukdomar och skadedjur. Optimal kvävegiva är ofta kring 100-200 kg N/ha (Hadders, 1989).

Timotej kan odlas på alla typer av jordar utom de allra torraste. Vallens liggtid är ungefär 4-5 år, och odlingen anses som relativt okänslig för sjukdoms- och skadedjursangrepp. Avkastningen är något lägre än vid odling av rörflen. Foderlost har en benägenhet att lägga sig och fuktas upp, vilket medför stora svårigheter vid fälttorkning. Lusern är en intressant gröda som fixerar luftens kväve och är ganska okänslig för torka. Nackdelar är att den ställer höga krav på dränering, näringstillstånd etc, samt att den har dålig vinterhårdighet.

Försök visar att energigräs ger högst avkastning vid två skördar per år, en i mitten av juli och en i september-oktober. Visserligen blir första skörden större vid en något senare tidpunkt, men förutsättningarna för fälttorkning försämras då. Den första skörden fälttorkas och används som fastbränsle, medan den andra skörden kan användas för biogasproduktion eller foder, eftersom torkningsförhållandena är sämre.

Ett alternativ är att skörda rörflen på våren efter snösmältningen. Gräset är då torrt och lagringsdugligt, samtidigt som tillväxten under hösten kan tillvaratas för bränsleproduktion. Bladspillet blir högre, men detta överför å andra sidan växtnäring till marken.

Vid odling av energigräs används samma maskiner och hanteringssystem som vid höberedning. Beträffande bärgning, transport och lagring är förhållandena likartade för motsvarande arbeten för energihalm, förutom att baldensiteten är ca 50 % högre.

## Hantering och förbränning

Energigräs är ett något segare material än halm, vilket kan ge bekymmer med transportörer och inmatningsutrustning vid pannan. Gräs har i huvudsak samma krav som halm vad gäller förädling till briketter och pelletter.

Innehållet av aska i gräs utgör mellan 4-8 % av torrsubstansen. Analyser av askans smälttemperatur visar på värden mellan 920-1150°C, vilket kan innebära problem med sintring. Askans smälttemperatur är högre hos vårskördad rörflen än hos sommarskördad. Det effektiva värmevärdet är beroende av bl a askhalten och vattenhalten, och varierar mellan 4,0-4,4 kWh/kg ts vid 15 % vattenhalt.

Rörflen innehåller ungefär 45 % kol, 6,1 % väte, 1,4 % kväve och 0,1 % svavel (procent per kg ts).

Sameldning med torv och energigräs i fluidiserande bäddar har visat att det är möjligt att binda 40-50 % av askans svavelinnehåll. De svavelbindande ämnena i energigräs är kalcium, kalium och magnesium (Anon., 1990).



## Miljöaspekter

I spannmålsdominerade växtföljder ger odling av energigräs många positiva effekter. Eftersom marken hela tiden är bevuxen minskar näringsläckaget. Dessutom tillförs marken kontinuerligt mullråämnen. Till skillnad mot skogsplantering innebär odling av energigräs ett öppet landskap, som kan erbjuda en tilltalande biotop för vissa växter och djur.

Vid förbränning sker inget nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Svavel- och kväveoxidutsläppen bedöms uppfylla de framtida utsläppsnormerna med god marginal.

## Vass

Vass är ett gräs, men brukar i regel inte inbegripas under termen "energigräs". Med vass för energiändamål avses främst bladvass (*Phragmites australis*). Förutom att vass förekommer i naturligt tillstånd längs sjöar och på våtmarker, är det även tänkbart att odla vass på åkermark där man reglerar vattennivån med fördämningar. Kostnaderna med detta system torde emellertid ej vara konkurrenskraftiga vid jämförelse med andra energigrödor.

Vass skördas enklast på vintern då isen lagt sig. För skördearbetet kan vanliga lantbruksmaskiner användas. Skördeteknik, hantering, bränsleegenskaper m m avviker vid skörd på isen inte nämnvärt från vad som gäller för halm och energigräs.

## SPANNMÅL

### Förutsättningar

Användning av spannmål för energiändamål upprör många känslor då det i en svältande värld kan finnas moraliska betänkligheter mot detta förfarande. I dagens situation med överskott på jordbruksmark har tankar emellertid väckts för odling av spannmål för eldning och framställning av etanol. Det nuvarande spannmålsöverskottet motsvarar årligen ca 10 TWh. Ekonomiska aspekter gör dock användningen av spannmål som bränsle tveksam, även om tekniken fungerar tillfredsställande. En viktig invändning mot produktion av etanol är att energikvoten, d v s erhållen energimängd i förhållande till vad man tillfört i produktionen, är låg.

### Produktion

Höstvete är det spannmålsslag som ger högst avkastning. I områden där odlingsbetingelserna för höstvete är mindre goda kan även andra spannmålsslag komma ifråga. Höstvete med en kärnskörd på 7 ton/ha ger överslagsmässigt en total skörd (kärna inkl halm, agnar och boss) på ungefär 14 ton brännbart material per hektar. Skörden kan i princip tillgå på tre olika sätt: konventionell skördetröskning och bärgning av halm, direktskörd av hela växten, samt fälttorkning av hela växten.

Traditionell skördetröskning och bärgning av halm erbjuder många fördelar. Tekniken är väl etablerad och man slipper artificiell torkning av halmen, samtidigt som kärnorna kan torkas enligt gängse metoder. Kärnans mekaniska och förbränningstekniska egenskaper medför att den kan betraktas som en minipellett och därmed eldas i härför avsedda pannor, medan halmen eldas i vanliga halmpannor. En annan möjlighet är att mala kärnorna till mjöl för användning som bränslepulver. Dessa förbränningssätt ger kärnorna ett högre ekonomiskt värde jämfört med om de skulle vara blandade med halmen, eftersom de kan konkurrera med andra pellett- och pulverbränslen. En annan fördel med traditionell bärgning är att kärnorna med kort varsel kan användas som livsmedel om avsättningsmöjligheterna försämrats.

Direktskörd av hela spannmålsväxten har praktiserats i Östeuropa och även prövats i Sverige. Helsäden skördades i stort sett oberoende av väderleken med fälthackar, varefter hackelsen transporterades till centrala torkningsanläggningar. Ett annat alternativ som provats är att skörda helsäden med samma maskiner som används vid höberedning. Dessa båda metoder har dock inte fått någon utbredning; främst p g a höga kostnader, men även beroende på problem med drösning och svårigheter att torka materialet, samt separation och problem vid förbränningen.

## Användning

Försök med eldning av vetemjöl har visat goda resultat. Det har inte uppstått några allvarliga sintringsproblem eller andra störningar. Spannmålpulvret har också med framgång blandats med kolpulver i större anläggningar. Däremot har förbränning av helsäd medfört komplikationer då kärna och halm har helt olika förbränningsegenskaper. Värmevärdet hos spannmål avviker inte nämnvärt från vad som gäller för halm. Med tanke på lagerutrymmen, inmatnings- och regler-system samt lämpliga panntyper torde förbränning av spannmål bäst ske i större anläggningar. Beträffande miljöaspekter har man såvitt känt inte undersökt emissionerna vid förbränning av spannmål.

Genom hydrolys och jäsning av spannmålen kan man framställa etanol för fordonsdrift. Vid tillverkningen fordras storskalig teknik. För höstvetete är utbytet knappt 400 liter etanol per ton spannmål. Ottomotorer kan köras med låginblandning av etanol utan att motorn behöver byggas om, och är således ett miljövänligt alternativ för privatbilismen. Etanol i dieselfordon ger mycket låga utsläpp av toxiska ämnen och är därför lämplig i känsliga miljöer där man måste använda tunga fordon.

## BIOGAS

### Förutsättningar och tillgångar

Biogas bildas vid syrefri (anaerob) nedbrytning av organiska material. Gasen kan utvinnas ur alla organiska material, men av ekonomiska och miljömässiga skäl har man mest intresserat sig för rötning av gödsel, odlade jordbruksgrödor och avfall.

Gödsel är en billig produkt som kan användas för energiutvinning utan att växtnäringsvärdet försämras. Jordbruksgrödor som odlas enbart för biogasproduktion kräver större insatser av arbete och kapital, men ger å andra sidan ett högre utbyte. Med det rådande överskottet på jordbruksmark kan odling av dessa grödor utgöra ett intressant alternativ. För rötning av organiskt avfall från t ex livsmedelsindustrin finns idag kommersiellt gångbar teknik. På vissa platser i Sverige har man även börjat utvinna biogas från soptippar.

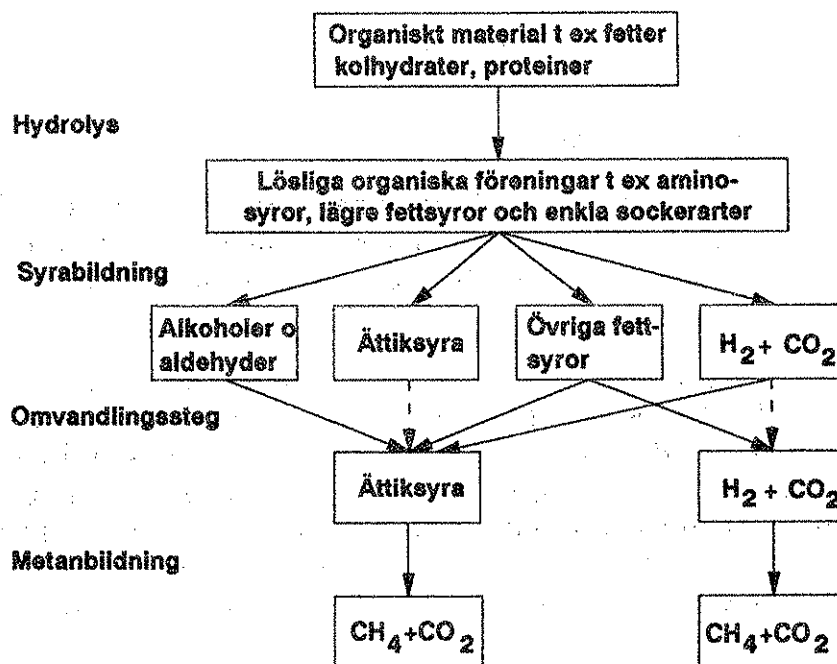
Biogas är ett miljövänligt bränsle som kan användas för både uppvärmning, elgenerering och som fordonsbränsle. I södra Kina och i Indien har småskaliga anläggningar fått stor utbredning. Gasen används bl a för belysning och matlagning. Anläggningarna kräver dock mycket manuellt arbete och passar inte i vårt kyliga klimat. Hittills har produktion av biogas ansetts vara för dyrt i Sverige, men både intresset och teknikutvecklingen har gått starkt framåt på sista tiden.

En framtida odling av jordbruksgrödor för biogasproduktion beräknas ge en energimängd motsvarande 1 TWh per 50 000 ha. Utvinningen av biogas från deponier och avfall uppgår idag till ungefär 1 TWh per år. Denna produktion skulle i framtiden kunna öka till 6 TWh per år. Om man odlar grödor för biogasproduktion på den nuvarande överskottsarealen (ca 500 000 ha), uppgår således den totala produktionspotentialen till ca 16 TWh. Man ska dock ha i minnet att detta medför ett mycket stort antal anläggningar, eftersom varje anläggning beräknas ge maximalt 2-3 MW.

### Produktion

#### Bildning av biogas

Biogas (rötgas) bildas vid mikrobiell nedbrytning av organiskt material under anaeroba förhållanden, se figur 86. Fetter, kolhydrater och proteiner bryts via hydrolys och syrabildning ner till enkla föreningar såsom myrsyra, ättiksyra, aminosyror, vätgas, koldioxid m m. Metanbildande bakterier omvandlar sedan främst ättiksyra samt vätgas och koldioxid till metan. Om inte metanbakterierna är tillräckligt avstannar nedbrytningen då övriga bakterier förstörs av sina egna slutprodukter. I rötningsprocessen deltar ett stort antal bakterier i en lång och invecklad kedja, varför framställningen i figur 86 är starkt förenklad.



Figur 86. Förenklad skiss över de olika stegen vid anaerob nedbrytning. Källa: Brolin et al, 1988.

I tabell 15 visas biogasens kemiska sammansättning. De dominerande gaserna utgörs av metan och koldioxid. Halterna varierar beroende på t ex materialets sammansättning, utröttningsgrad, vattenhalt och rötningstemperatur. Dessutom innehåller biogas det giftiga och korrosiva ämnet svavelväte, samt väte, kväve, syre och vattenånga.

Tabell 15. Kemisk sammansättning av biogas (Källa: Brolin et al, 1988)

Gaskomponent	Kemisk formel	Volymandel (%)
Metan	CH <sub>4</sub>	50-65
Koldioxid	CO <sub>2</sub>	30-45
Svavelväte	H <sub>2</sub> S	0,1-1
Övrigt	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	3-8

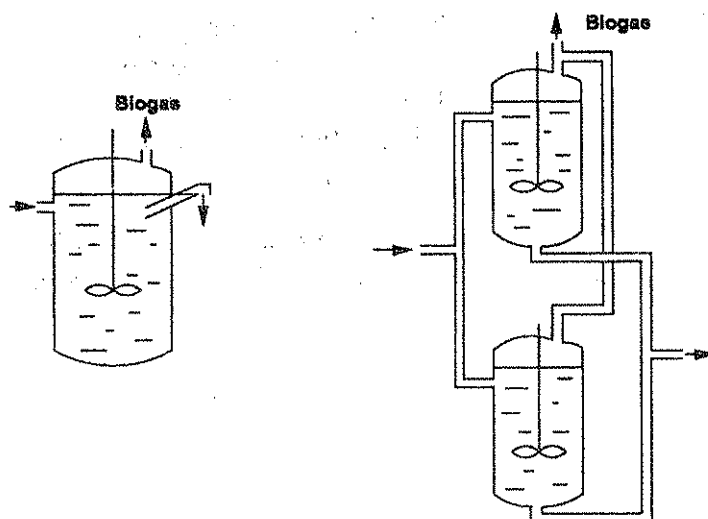
Bakterierna kräver en anaerob miljö, och processen måste därför ske i slutna behållare. Rötningen är enklast att hantera om substratet är flytande. Dessutom underlättas mikrobernas aktivitet om vatten finns närvarande. Bakteriernas aktivitet är även starkt beroende av temperaturen, d v s ju högre temperaturen är, desto snabbare sker nedbrytningen.

I praktiken sker rötningen antingen vid 30-40°C (mesofil rötning) eller vid 50-60°C (termofil rötning). Vid den termofila processen är nedbrytningshastigheten ungefär dubbelt så stor som vid mesofil rötning. Det bildas emellertid endast obetydligt med värme vid rötningen, vilket medför att det åtgår ansemliga mängder energi för att upprätthålla temperaturen. Anläggningen bör därför förses med värmeväxlare som återför det utrötade materialets värme till det kalla inkommande materialet.

## Processteknik

Rötkammaren är den dyraste komponenten i biogasanläggningen. Den kan vara tillverkad av betong, stålplåt eller plast, och måste vara helt gastät och ha tillräcklig isolering. Rötning kan praktiskt tillgå enligt två olika principer: satsvis och kontinuerlig rötning.

Satsvis rötning innebär att kammaren fylls med orötat material, som sedan förblir i kammaren tills rötningen är avslutad. Genom att spara ca 20 % av materialet i kammaren vid tömningen, ympas nästa sats, varvid processen underlättas. En anläggning som arbetar med satsvis rötning bör bestå av flera kammare så att väntetiderna inte blir för långa, se figur 87.



Figur 87. Enstegs kontinuerlig rötning (t v) och satsvis rötning (t h).

I en enstegs kontinuerlig rötkammare sker hela jäsningsprocessen i en enda behållare (figur 87). Den beskickas kontinuerligt eller portionsvis, och töms genom att motsvarande mängd tillfört material pumpas ut. Vätskevolymen är således alltid ungefär densamma. För att undvika skiktning och bottensediment behövs omblandning, vilket kan ske med propeller, rotor eller pump. Denna rötningssmetod har hittills varit den mest förekommande.

Filtorrötning tillämpas vid kraftigt utspädda substrat, d v s när torrsbstanshalten understiger 3 %. Bakterierna sitter kvar på filtret, som kan bestå av sten eller plastkolor, även när uppehållstiden är kort.

Vid tvåstegs kontinuerlig rötning bryts det organiska materialet ner i två skilda reaktorer. I den första (hydrolysreaktorn) spjälkar de hydrolyserande bakterierna materialet till enkla föreningar, varefter substratet separeras i en vätskedel och en fast del. Vätskedelen tillförs sedan efterföljande reaktor (metanreaktorn), som försetts med ett bakteriefilter. Denna rötningssmetod ger högre metanhalt i biogasen (ca 65 %), eftersom man bättre kan tillgodose de olika bakteriegruppernas livsbetingelser. Detta medför även att utröttningsgraden blir högre och att den erforderliga rötkammarvolymen minskar.

## Råvaror och restprodukter

Råvarorna för framställning av biogas kan utgöras av såväl organiskt avfall som speciellt odlade grödor. Det organiska avfallet kan erhållas från kommunal verksamhet, jord- och skogsbruk, samt från livsmedels-, läkemedels- och garveriindustrin. Grödor som kan vara intressanta för biogasproduktion är t ex jordärtskocka, lusern, fodermärgkål, gräs och fodersockerbeta. Det är även tänkbart att odla kombinationsgrödor som används för t ex fiberframställning och biogasproduktion.

I tabell 16 visas den maximala biogasproduktionen hos några aktuella substrat. Det största utbytet erhålls från fodersockerbeta, men även lusern, jordärtskocka och slakteriavfall ger god utdelning. Eftersom djuren utnyttjar en stor del av fodrets energivärde, ger gödsel en förhållandevis låg gasproduktion. I praktiska försök har man vid kontinuerliga processer med tio dagars uppehållstid erhållit 75-80 % av det maximala gasutbytet. Ju längre uppehållstiden är, desto högre blir gasuttaget, men detta leder å andra sidan till att den erforderliga rötkammarvolymen ökar, varför kostnaderna stiger.

Tabell 16. Maximal produktion av biogas vid satsvis mesofil rötning (VS = Volatile Solids, d v s mängden organiskt material då vatten och aska avlägsnats) (Källa: Brolin et al, 1988)

Organiskt material	Biogasproduktion (m <sup>3</sup> /ton VS)
Fodersockerbeta (beta utan blast)	880
Fodermärgkål	670
Gräs	600
Lusern	770
Jordärtskocka	700
Trädgårdsmålla	600
Vass	440
Salix	490
Björk	430
Gran	140
Gödsel	300
Kommunalt avfall	600
Slakteriavfall	700

Energigrödor som odlas för biogasproduktion ska utnyttja solenergin så långt det är möjligt och därmed ge hög avkastning, samt vara lätta att odla och skörda. Vidare ska man kunna konservera materialet utan större substansförluster tills rötkammaren beskickas. Då energigrödorna har hög vattenhalt vid skörd sker detta lämpligen medelst ensilering. Avgången av pressaft kan för vissa grödor vara riklig, och pressaften utgör ett ypperligt substrat då den är mycket näringsrik. Dessutom bör grödan innehålla mycket extraktivämnen såsom t ex socker, vilka utnyttjas av de metanbildande bakterierna. Däremot försvårar en hög halt av lignin (vedämne) utvinningen av biogas. Slutligen är det värdefullt om grödornas restprodukter kan utnyttjas som jordförbättringsmedel eller foder.

Försök vid JTI med samrötning av ensilerat växtmaterial och flytgödsel gav ett positivt utfall. Man erhöll en synergistisk verkan som gav snabbare gasproduktion än vad som skulle varit fallet om beståndsdelarna hade rötats var för sig. Detta förhållande gäller troligen även vid rötning av olika sorters avfall.

I rötkammaren bryts 50-70 % av det ingående materialets organiska substans ned, varvid bl a gas och vatten bildas. Detta betyder att torrsbstanshalten och volymen hos det utrötade materialet minskar något. Innehållet av växtnäringsämnen (N, P, K etc) reduceras emellertid inte nämnvärt då den bildade gasen främst består av metan och koldioxid. Under röttningsprocessen omvandlas en del av det organiskt bundna kvävet till ammoniumkväve, som lättare tas upp av växterna. Det utrötade materialet är således ett utmärkt gödselmedel. En annan tänkbar möjlighet är att använda utrötat material från vissa råvaror som foder.

### **Transport och lagring**

Av ekonomiska skäl bör man inte lagra biogas i större mängder. Vid användning på gårdsnivå skulle man kunna buffertlagra några dagars förbrukning i säckar av butylgummi eller plast. Det är även tänkbart att lagra gasen i ståltankar med ett tryck på 4-8 bar. Lagring av biogas i vätskeform fordrar nedkylning till -165°C, och är därför knappast aktuellt för mindre gårdsanläggningar.

Till närbelägna förbrukare transporteras gasen enklast och billigast i gasledningar. Rören tillverkas av korrosionsbeständiga plastledningar. För att undvika kondensvatten bör man avfukta gasen eller anlägga speciella dräneringsbrunnar.

Vid användning som fordonsbränsle komprimeras gasen vanligen i flaskor till minst 200 bar. Gasen renas då från koldioxid och svavelväte, vilket höjer den nyttiga transport- och lagringskapaciteten. Gasflaskornas vikt är ungefär 1,0 kg per liter lagringsvolym, och då energiinnehållet hos den komprimerade gasen är ca 1/8 av motsvarande volym bensin, blir längre transporter relativt kostsamma.

### **Användning**

#### Uppvärmning

Biogas kan användas för uppvärmning. Då lagringsmöjligheterna är begränsade bör man eftersträva en kontinuerlig konsumtion, vilket kan ske när den används som t ex baslast. Förbränning kan ske i pannor avsedda för naturgas eller i pannor som konverteras till gasdrift, samt i gasspisar. En befintlig oljepanna kan konverteras genom att brännaren byts ut. Generellt sett är verkningsgraden högre för gaseldade pannor än för oljeeldade, beroende på att sotbildningen är mindre och att man kan ha lägre rökgastemperatur (förutsatt att gasen renats från svavelväte).



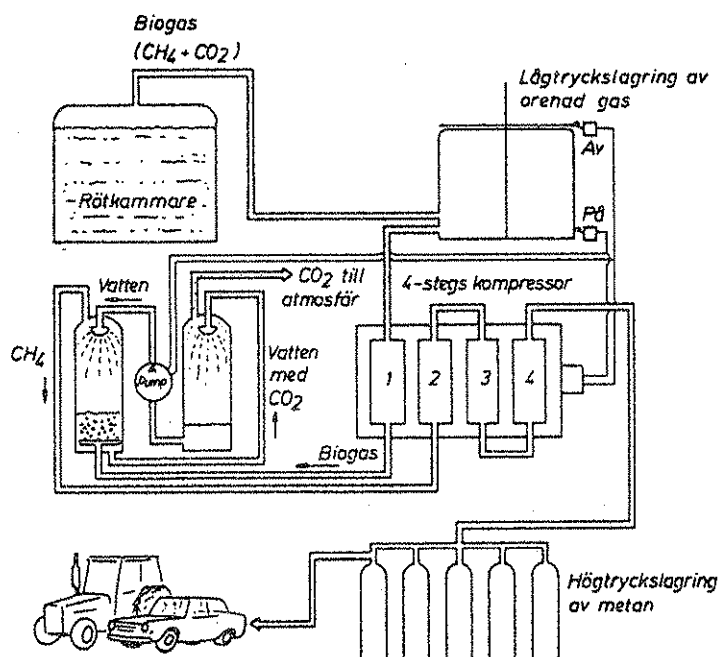
Det effektiva värmevärdet för biogas är 20-23 MJ/nm<sup>3</sup> (≈5,6-6,4 kWh/nm<sup>3</sup>). Ren metan, som t ex används som fordonsbränsle, har ett värmevärde på ca 35 MJ/nm<sup>3</sup>, vilket ungefärligen motsvarar en liter bensin.

Eftersom gasledningar är betydligt billigare än kulvertar, bör man överväga möjligheten att använda flera decentraliserade pannor istället för en centralt placerad panna. Vid distribution i gasledningar är det viktigt att gasen torkas för att man ska undvika bildning av isproppar. När man utformar en gårdsanläggning ska man naturligtvis också undersöka energibehovets variation under året och jämföra det med den förväntade produktionen av biogas.

Biogas kan utnyttjas för elproduktion i stationära ottomotorer. Ungefär en tredjedel av den tillförda energin kan omvandlas till el, medan en tredjedel kan användas för uppvärmning. Andra intressanta användningsområden är som bränsle i stirlingmotorer, eller för elgenerering i gasturbiner. På kontinenten finns även systemlösningar för gasmotordrivna värmepumpar.

### Fordonsbränsle

Biogas kan användas som bränsle i såväl ottomotorer som i dieselmotorer. För att vara lämplig som fordonsbränsle måste gasen renas från koldioxid och svavelväte, samt komprimeras, se figur 88. Den förädlade gasen får samma egenskaper som naturgas, varför man kan nyttja samma teknik som har utvecklats för naturgasdrivna fordon.



Figur 88. Processen för framställning, rening och komprimering av biogas för fordonstrift. Här används våtskrubberteknik, som innebär att biogasen under visst tryck passerar en vattendusch och bildar kolsyra, varefter vätsketrycket reduceras till atmosfärtryck. Koldioxiden avgår då till atmosfären. Den reade gasen komprimeras sedan till minst 200 bar, vilket fordrar ett energibehov på ca 10 % av gasens energiinnehåll. Källa: Stewart, 1983.

Biogas har högt oktantal och långsam förbränningshastighet. Gasen är därför mest lämpad som bränsle i motorer med tändstiftständning (ottomotorer) som inte har alltför höga varvtal. Motorn kan vara en ombyggd bensinmotor som anpassats för gasbränslen, men som även går att köra med bensin, eller en motor som optimerats för gasdrift.

I en dieselmotor måste en viss mängd dieselolja tillsättas eftersom biogas har för hög antändningstemperatur. Driften kan ske med antingen blanddrift (ca 35 % biogas), dieseltändning (90-95 % biogas), eller med tändstiftsassisterad motor (d v s konvertering till ottomotor). De två förstnämnda metoderna är billigast men kräver dubbla bränslesystem.

Användning av biogas som fordonsbränsle ger kort räckvidd och högre fordonsvikt p g a högtryckstankarna, men man får å andra sidan mindre utsläpp av bl a sot och oförbrända kolväten. Biogas är därför ett bra alternativ i tätortstrafik.

### **Komposteringsvärme**

Produktionn av komposteringsvärme är en helt annan process än framställning av biogas. När kolhydrater och cellulosa bryts ned av bakterier och svampar under aeroba förhållanden bildas värme, vatten och koldioxid. Nedbrytningshastigheten är beroende av materialets sammansättning och temperatur, samt tillgången på syre och vatten. Denna spontana komposteringsprocess ger så mycket värme att den kan användas för uppvärmning. Om lufttillförseln är optimal kan man teoretiskt utvinna ungefär 25 kWh per kg torrsbstans. I en välsolerad behållare kan temperaturen då stiga till 40-50°C.

JTI har utfört försök med utvinning av komposteringsvärme från flytgödsel (JTI, 1985). Erfarenheterna visar att utvinningen sker bäst med flytande material. Utvinning av komposteringsvärme ur gödsel har dock fått mycket liten utbredning, och forskning bedrivs endast i mindre omfattning. En fördel med metoden är att gödseln hygieniseras, d v s bakterier och parasiter oskadliggörs, samtidigt som lukten reduceras. Dessutom försämrar inte gödselns växtnäringsvärde förutom att kväveinnehållet minskar något.

### **Miljöaspekter**

#### Produktion

Rötning av gödsel medför en markant luktreducering. Denna aspekt kan ha stor betydelse vid spridning och lagring av höns- och svingödsel nära bebyggelse. Dessutom sker en kraftig minskning av antalet bakterier och parasiter. Effekten är störst vid termofil rötning, där t ex alla salmonellabakterier dödas.

Odling av energigrödor som är aktuella för produktion av biogas medför både positiva och negativa miljöeffekter, beroende på bl a grödval och odlingsintensitet. På gårdar med ensidig spannmålsodling kan energigrödorna minska behovet av kemiska bekämpningsmedel i spannmålsodlingen, samt ge ett gott förfruktswärde och i vissa fall förbättra mullhalten och minska näringsläckaget.

Odling av kvävefixerande baljväxter eliminerar behovet av kvävegödsel, samtidigt som det utrötade materialet kan användas som kvävegödselmedel i andra grödor.

Eftersom i princip ingen växtnäring går förlorad i jäsningsprocessen, kan det utrötade materialet återföras till odlingen som växtnäring. Det minskade behovet av handelsgödsel leder även till mindre tillförsel av tungmetaller, t ex kadmium. Till skillnad mot förbränning av biobränslen, bevaras materialets kväveinnehåll vid produktion av biogas.

Genom att använda avfall och avloppsvatten som substrat hygieniseras materialet, samtidigt som man utvinner energi. Om rötresterna inte innehåller alltför många skadliga ämnen, kan sedan återcirkulering av växtnäring ske genom gödsling i jordbruket. Förutom gödsel och avfall från jordbruket, utgör även avfall från slakterier, bryggerier, mejerier och andra livsmedelsindustrier, samt malt köksavfall, intressanta råvaror.

Slutligen ska man vara uppmärksam på att biogas innehåller giftiga beståndsdelar och att det vid ogynnsamma omständigheter kan inträffa gasexplosioner. En blandning av 75-90 % luft och 25-10 % biogas är explosiv. Giftigheten betingas framförallt av gasens innehåll av svavelväte, men man bör även beakta att koldioxid är dödlig i höga koncentrationer p g a kvävning.

### Emissioner

Användning av biogas leder inte till någon ökning av atmosfärens koldioxidhalt. Vid förbränning är utsläppen av stoft mycket ringa. Man har uppmätt 0-0,015 mg/MJ, vilket kan jämföras med ca 10 mg/MJ för olja. Dessutom innehåller stoftet obetydliga mängder tungmetaller (Brolin et al, 1988).

Biogas innehåller svavelväte, som vid förbränning ger upphov till utsläpp av svaveloxider. Emissionerna kan vara ca 0,1 g S/MJ, vilket motsvarar förbränning av eldningsolja med ca 0,3 % svavel. Numera finns emellertid metoder för att rena biogasen från svavelväte. Utsläppen av kväveoxider, NO<sub>x</sub>, har uppskattats till högst ca 30 mg/MJ (Brolin et al, 1988).

Utsläppen av polyaromatiska kolväten (PAH) är troligen mycket små. För det cancerogena ämnet benz(a)pyren har man uppmätt värden som ligger tiopotenser lägre än vad som gäller för olja, kol och flis. Mängden oförbrända ämnen vid gaseldning anses överhuvudtaget vara obetydlig. Utsläpp av oförbränd biogas i atmosfären är däremot mycket skadligt då metan har ungefär 25 gånger högre växthuseffekt än koldioxid.

Beträffande användning som fordonsbränsle, kan nämnas att biogasdrivna ottomotorer har låga utsläpp av kolmonoxid, kolväten, PAH och sot jämfört med bensindrift. För dieselmotorer är utsläppen av kolmonoxid och kolväten högre, medan PAH- och sotemissionerna är lägre än vid vanlig dieseldrift. Utsläppen av kväveoxider är i stort oförändrade för bägge motortyperna (Bernesson, 1991).

## TORV

Under seklets början spelade torv en viktig roll som energikälla. Förutom användning som bränsle och jordförbättringsmedel, utnyttjades torv även som råvara vid framställning av sprit, gas, tyg m m. I samband med de båda världskrigens utbrott ökade användningen dramatiskt, för att sedan snabbt avta då handeln med kol och olja kom igång.

Torv betraktas vanligen som ett biobränsle, trots att det ibland har ansetts vara ett fossilt bränsle. För närvarande är den årliga mängden nybildad torv större än mängden utvunnen torv. Många lantbrukare är innehavare av torvtäcker, varför även torveldning kan utgöra ett lockande alternativ.

### Vad är torv?

#### Bildning

De markområden som kännetecknas av en fuktighetsälskande flora kallas myrar, medan jordarten i dessa områden utgörs av torv. Torv förekommer i två typer av myrar, dels i mossar och dels i kärr.

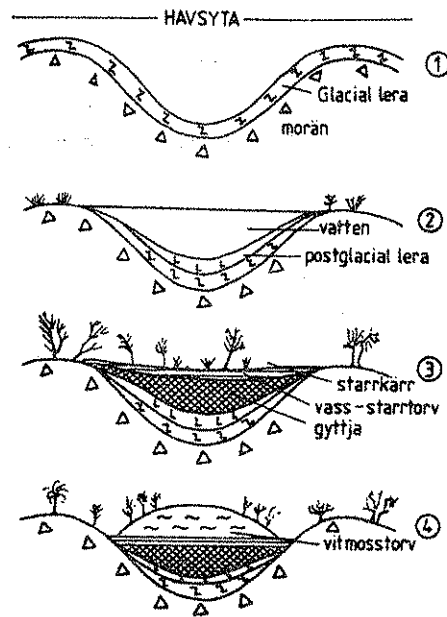
Kärr är en myr som förutom nederbörd även tar emot vatten från omgivande fastmarker. Surhetsgraden och innehållet av näringsämnen varierar stort mellan olika kärrtyper. Vegetation och fauna är mer omväxlande i kärrliknande miljöer än i mossar. I kärr förekommer förutom vitmossor även olika arter av starr (*Carex*).

Mossen är en myr som inte tar emot något fastmarksvatten utan endast nederbörd. Den sura marken och bristen på näringsämnen ger en fattig vegetation som oftast inte är heltäckande. I dessa näringsfattiga myrar förekommer främst olika vitmossor (*Sphagnum*-arter).

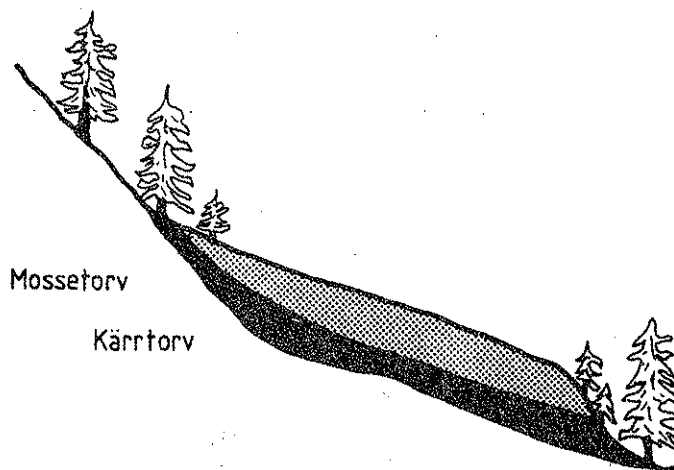
I Sverige började torvmarkerna bildas efter den senaste istiden, d v s för cirka 10 000 år sedan. Torv bildas där vattentillgången är riklig. Syrebrist medför att det organiska materialet inte bryts ned fullständigt. Torvtillväxten kan börja antingen i en igenväxt sjö, (igenväxningstorvmark, figur 89), eller direkt på mineraljorden (försumpningstorvmark, figur 90).

Enligt figur 89 kan torvbildningen uppdelas i olika stadier;

1. Området ligger helt under havsytan strax efter istidens slut.
2. Terrängens höjdparter börjar höjas ur havet och en havsvik eller sjö bildas.
3. Sjön har grundats upp och växt igen varvid ett kärr har bildats.
4. Kärrtorven har överlagrats av mäktiga lager vitmosstorv och en högmossa har bildats. Lagerföljden visar en typisk igenväxningstorvmark.



Figur 89. Schematisk bildning av en högmosse belägen under högsta kustlinjen.



Figur 90. Schematisk uppbyggnad av en försumpningstorvmark, där torven ligger direkt på underliggande minerogena jordarter.

#### von Posts humifieringsskala

Omvandlingen från växtrester till torv är en humifieringsprocess som orsakas av bakterier, svampar etc. Humifieringen sker i mossens ytskikt där det finns tillgång till syre. Längre ned i mossen blir miljön så syrefattig i det stillastående vattnet att nedbrytningen nästan upphör helt.

Torvens kemiska och tekniska egenskaper beror till stor del på hur långt humifieringsprocessen har framskridit. För torvbränsle är en hög humifieringsgrad önskvärd, medan man för odlingsändamål vill ha en låghumifierad torv. Humifieringsgraden anges med von Posts tiogradiga skala. Ohumifierad torv har beteckningen H1, och fullständigt humifierad torv betecknas med H10.

Mätningen tillgår på så sätt att man tar en torvbit som är något mindre än en handflata, och pressar den sedan lätt till en boll för att få bort överflödigt vatten. Sedan pressar man kraftigt ihop torven och ser efter hur mycket torv som pressas ut mellan fingrarna. Är torven ohumifierad (H1) avgår vid kramning endast färglöst klart vatten. Däremot passerar hela torvmassan fingrarna utan avskiljande av vatten om torven är fullständigt humifierad (H10).

### Torvslag

Torv kan delas in i olika klasser, beroende på vilka växter som utgör grundmaterialet. De viktigaste klasserna är:

- \* Vitmosstorv (*Sphagnum*)
- \* Kärrtorv
- \* Starrtorv (*Carex*)

Vitmosstorv och starrtorv är de dominerande klasserna. Torven kan bestå av enbart vitmossa eller starrväxter. Ofta är emellertid torven sammansatt av två torvslag.

Vitmosstorv består av vitmossor, som är karakteristiska för öppna högmossar. Vitmosstorv är oftast låghumifierad. I norra Sverige är det vanligt att vitmosstorven innehåller rester av starr och mer näringskrävande växter. Vitmossan kännetecknas av stor vattenupptagande förmåga och dålig vattengenomsläpplighet. Om torven är tillräckligt förmultnad innehåller den mycket limämne och är därför lämplig för produktion av stycketorv. I naturligt tillstånd känns vitmossan hal och såpaktig.

Lövkärrtorv är en välhumifierad torv som har bildats i al- eller björkkärr. Lövkärrtorv utmärks av lövträdsrester av stubbar, kvistar, vedbitar m m. Torven har hög volymvikt och högt värmevärde.

Starrtorven kännetecknas av att den inte ens som förmultnad är hal. Torven bildas i starrkärr, ofta med ett bottenskikt av brunmossor och s k kärrvitmossor. Starrtorv ger ett bra torvbränsle med högt värmevärde. Stycketorv av välhumifierad starrtorv kan lätt falla sönder.

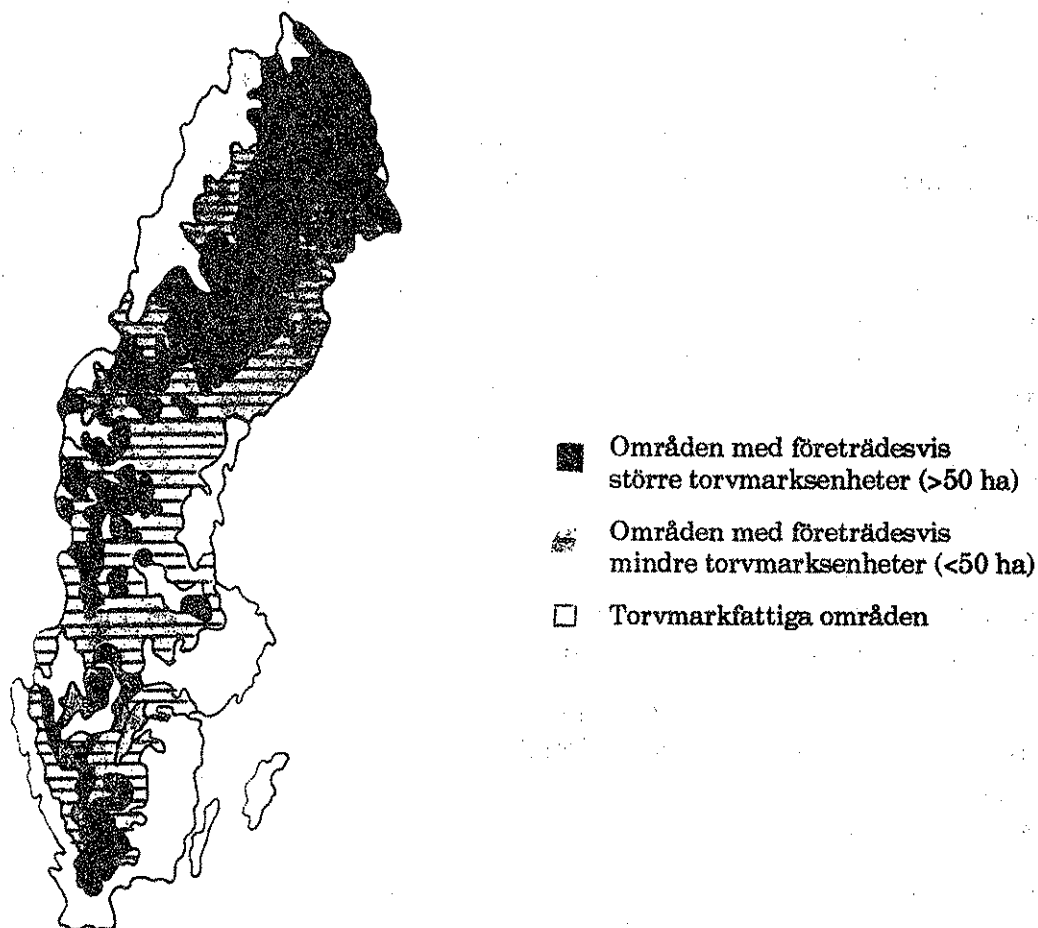
De torvrika områdena i södra och västra Sverige domineras av vitmossa med ett tjockt låghumifierat lager överst. I södra Skåne samt i de östra delarna av Götaland och Svealand minskar inslaget av vitmossa. Andelen starrtorv är här större. Inslaget av starrtorv ökar även i norra Sverige. I norra och inre delen av Norrbotten samt i norra delen av Västerbotten finns blandmyrar och vidsträckta starrmyrar med högt energiinnehåll.

## Tillgångar

Enligt riksskogstaxeringen finns det i Sverige 5,4 milj ha mark med ett torvlager överstigande 3 dm tjocklek. Detta motsvarar 10 % av landets yta. Ungefär 70 % av dessa marker finns i norra Sverige, 15 % i mellersta och 15 % i södra Sverige. De äldsta torvmarkerna finns i södra Sverige där torven vuxit sig mäktig. Markerna är dock ofta täckta av låghumifierade torvslag. Längs norrlandskusten har torvmarkerna torrlagts relativt sent och är dessutom ganska grunda.

Enligt SGU (Sveriges Geologiska Undersökning) finns i Sverige drygt 9000 mosar över 50 ha, vilket sammanlagt ger en areal på 1,7 milj ha. När hänsyn tagits till naturvård, torv kvalitet, torvdjup, vägar, avvattningsmöjligheter etc, bedöms ca 350 000 ha vara brytvärda med dagens produktionsmetoder. Denna areal beräknas innehålla en energimängd motsvarande omkring 2000 TWh.

Torvmarker på mindre än 50 ha utgör tillsammans 3,7 milj ha. Det är okänt hur stor del av denna areal som är brytvärd. Många av dessa marker torde emellertid vara av stort intresse för småskalig bränsleproduktion av den enskilde markägaren/entreprenören.



Figur 91. Torvtillgångar i Sverige. Källa: STEV, 1986.

## Torvtäkt

### Bestämmelser

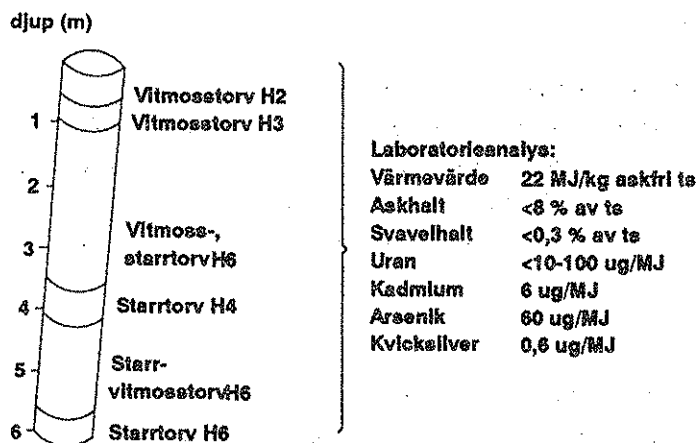
Utvinning av torv för energiändamål regleras i flera lagar och förordningar. De nuvarande bestämmelserna utgår från den lag som antogs av riksdagen år 1985: "Lagen om vissa torvfyndigheter". I anslutning till lagen utgavs torvförordningen, som beskriver vad en koncessionsansökan skall innehålla, hur den handläggs och vilka myndigheter som skall vara remissinstanser.

Den som ämnar bryta torv bör noga studera vilka regler som gäller och kontakta berörda myndigheter. Nämnas kan att det inte erfordras något tillstånd för markägares husbehovstäkt, såvida inte andra restriktioner gäller för området, t ex enligt naturresurslagen.

### Markundersökning

För att bedöma om en mosse är lämplig för brytning, måste man göra en markundersökning. I det första stadiet görs en översiktlig undersökning. Denna kan innefatta studier av kart- och flygbilder, där bl a myrtyp, dränerbarhet, förekomst av diken, skogsbeklädnad och avstånd till vägar och bebyggelse utreds.

En mer detaljerad undersökning görs i fält med sondering eller georadar (en typ av ekolod). Vid sonderingen delas området in efter baslinjer och tvärprofiler, varefter sondering sker med 100 eller 200 m avstånd. Proverna undersöks sedan dels i fält och dels i laboratorium. Torvens kvalitet vad gäller värmevärde, askhalt samt innehåll av svavel och tungmetaller analyseras i laboratoriet. I figur 92 visas ett exempel på ett borrhprov med tillhörande analysdata.



Figur 92. Exempel på ett borrhprov, som visar mossens olika torvlager, samt innehåll av tungmetaller m m.

Fältundersökningen ger bl a information om myrens djup, torvslag, underlag, bottenmaterial och vegetation. Humifieringsgraden bestäms efter von Posts



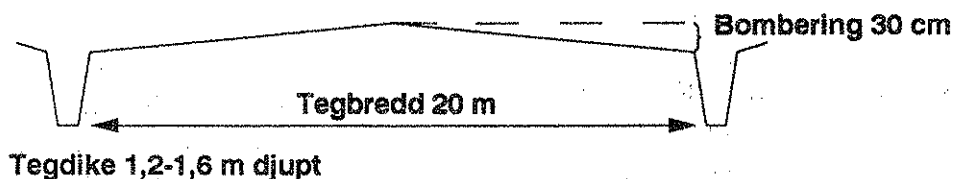
skala. Borrkärnorna ger även upplysningar om inblandning av fibrer och vedrester m m, vilka har betydelse för bränsleproduktionen. Slutligen gör man en lönsamhets- och likviditetskalkyl för projektet. Beakta därvid att det kan ta 2-5 år tills man uppnår full produktion.

### Beredning av mosse

Den första åtgärden vid beredning av en mosse är att bygga en transportväg och eventuellt en upplagsplats. Därefter avlägsnas skog och annan grövre vegetation. Den förberedande dikningen syftar till att eliminera ytvattnet och därigenom öka bärigheten. Detta arbete kan utföras under vintern.

Året efter den förberedande dikningen grävs det egentliga dikessystemet, tegdiken, vilka sänker myrens grundvattennivå. Dikena bör vara 1,2-1,6 m djupa med ett avstånd på 20 m. Arbetet kan utföras med t ex dikesfräsar. Det tar normalt ca 2 år att dränera mossen.

Efter dräneringen av mossen vidtar röjning av området. Stubbar avlägsnas och resterande vegetation i ytskiktet bearbetas med en fräs som finfördelar och blandar in materialet i torven. Dessutom skall tegarna bomberas (figur 93), vilket förhindrar vattensamlingar och ger en jämnare vattenhalt hos torven i ytskiktet.



Figur 93. Korrekt utformning av produktionstegarna ger bra torknings- och bärighetsbetingelser.

Mossens preparering avslutas med en ytberedning. Detta arbete kan utföras med en planeringssnäcka, som består av en stor roterande skruv som dras av en specialmaskin eller stor traktor. I det årligen återkommande underhållsarbetet ingår sedan bl a rensning och fördjupning av dikena. För tyngre arbetsmoment under blöta förhållanden krävs maskiner med hög effekt och lågt marktryck.

### **Produktion**

I Sverige produceras energitorv vanligen i form av två olika produkter; frästorv och stycktorv. Arbetsmomenten i produktionskedjorna är likartade, d v s upptagning, vändning, strängläggning (ev), hopsamling samt stackning.

I större skala försöker man även producera torv med fulldjupsutvinning. Med denna metod utvinns torven till fullt myrddjup, samtidigt som avvattning och torkning görs industriellt. Härvid blir utvinningen mindre beroende av vädret.

### Frästörv

Vid produktion av frästörv fräses man med hjälp av en skruv-, kniv- eller pinnfräs upp ett tunt skikt på 10-20 mm av torvytan. Pulvret får sedan soltorka på fältet. Vändning sker två till tre gånger efter varje fräsning. Vändmaskinen kan t ex bestå av skedar som monterats på en ram. När torven har torkat under två till tre dygn och uppnått en vattenhalt på ca 50 % samlas den ihop.

Vid hopsamling av frästörv kan man antingen först stränglägga torven med en skrapa och sedan lasta vagnar med en separat bandlastare, eller suga upp torven från tegarna. Den sistnämnda metoden kräver ingen föregående strängläggning, och ger en något bättre torvqualität. Denna metod är lämplig på mindre täkter. Torven lastas sedan av vid en stack.

Frästörvmetoden ger 10-15 skördar per säsong, beroende på väderleken. Medelproduktionen uppgår till ca 150 ton torv per ha och år. Frästörven ställer höga krav på förbränningsanläggningen p g a risken för dammexplosioner. Frästörv eldas därför endast i större anläggningar.

### Stycketörv

På mindre arealer lämpar sig produktion av stycketörv bäst. Härvid kan gårdens jordbrukstraktor användas som dragare av maskinerna. Traktorn bör vara fyrhjulsdreven och vara utrustad med dubbelmontage på både fram- och bakhjul. Vidare ska den kunna köras med mycket låg hastighet vid upptagningen: ca 0,5 km/h.

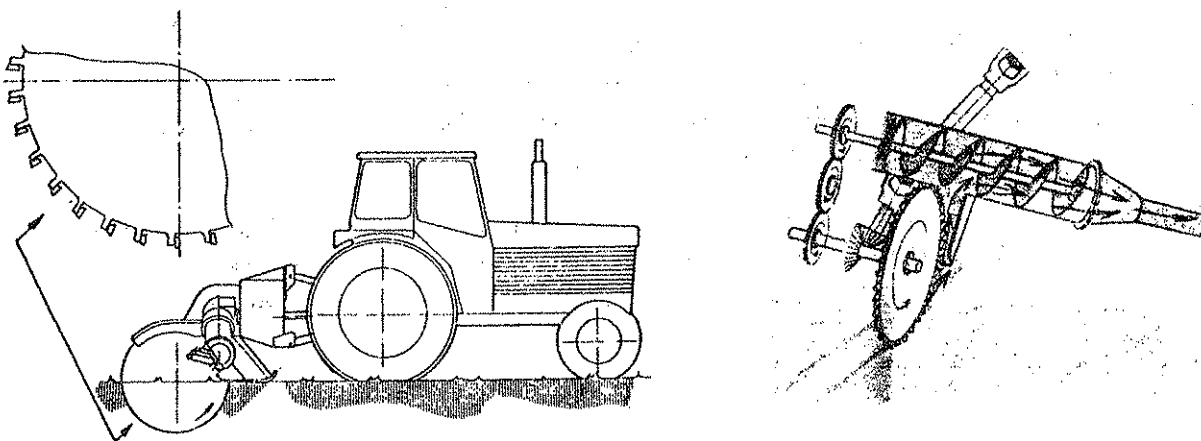
Upptagningsmaskinerna kopplas till traktorns trepunktslyft. Maskinerna hämtar upp torven från 30-100 cm djupa snitt i myren, varefter torven ältas i en skruv till munstyckena, där pressning till cylinderformade stycken sker. Ältningen har stor betydelse för torvens hållfasthet. I upptagaren kan torven tas upp med:

- \* tandad klinga, som kastar upp torven till skruven (figur 94)
- \* vertikalgående skruv (figur 95)
- \* kedjesåg

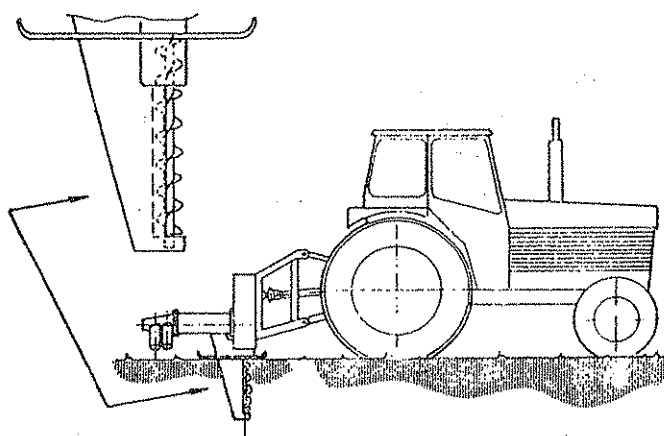
Upptagare med klinga är, till skillnad mot skruvupptagare, okänsliga för stubbar. De är dessutom driftsäkra men effektkrävande. För att erhålla goda förutsättningar för torkning bör torvbitarna förbli stående och bilda ett luftigt lager vid upptagningen. Torvstyckena tål ej att bli överkörda, och man bör därför lämna ett ca 3 m brett körstråk i tegens mitt som används vid vändning.

Vid upptagningen är fukthalten normalt 85-90 %. Genom vändning av torven 2-3 gånger med en pinnharvsliknande maskin påskyndas torkningen. Efter tre till sex veckors torkning har fukthalten sjunkit till 35 %.

Vid småskaliga system är det vanligt att torvstyckena samlas upp med en självlastande vagn utan föregående strängläggning. Den enklaste maskinen kan vara en ombyggd betupptagare. På större täkter strängläggs torvstyckena före lastningen. Bärningen utförs sedan med en separat lastare, t ex bandlastare, som lastar över i vagnar. Alla lastare för stycketorv måste utformas så att de rensar torvstyckena från lös torv.



Figur 94. Till vänster visas upptagning med tandad klinga. Källa: Svenska lantbrukssällskapens förbund, 1982. Till höger visas en principskiss över maskinens funktion. Källa: Statens maskinprovningar, 1983.



Figur 95. Upptagning med skruv. Källa: Svenska lantbrukssällskapens förbund, 1982.

### Förädling

Fräs- och stycketorv kan förädlas till briketter eller pelletter genom att torven torkas och pressas ihop under högt tryck. När fukthalten minskar från 50 till 10 % fördubblas energiinnehållet per ton. Om man även beaktar densitetshöjningen blir förändringen ännu större. Fördelen med förädling är att hantering och förbränningsutrustning blir enklare och billigare, samtidigt som transport och lagringskostnaderna minskar. Dessutom kan lagring ske under lång tid utan mikrobiell nedbrytning. Den största nackdelen är de höga kostnaderna.

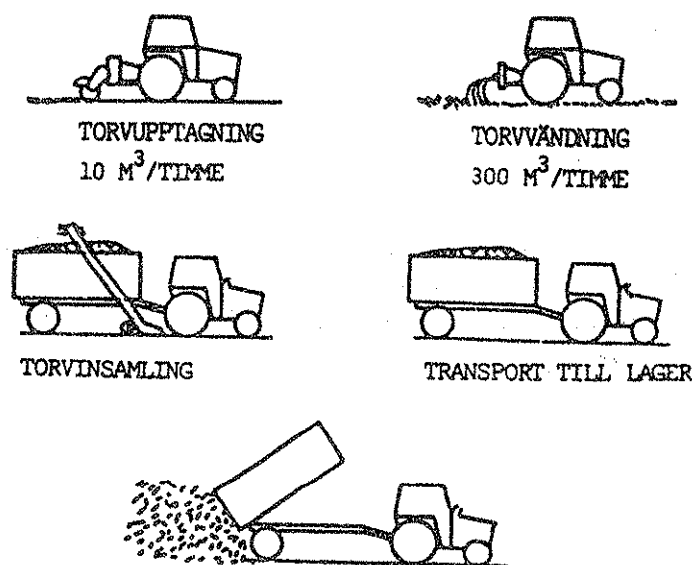
## Lagring och hantering

Eftersom torven vanligen förbrukas under vinterhalvåret och utvinningen sker på sommaren, måste lager uppföras.

Frästortv lagras oftast i en stack vid mosskanten. Komprimering sker med en tung stackmaskin, t ex grävmaskin eller bandtraktor, som med ett schaktblad även jämnar till stacken. Stackarna kan vid storskaliga system innehålla upp till 40 000 m<sup>3</sup>s torv, och vara sex till tolv meter höga. Transporten till användare sker i takt med förbrukningen med hjälp av lastbil eller järnväg.

Även stycketortv lagras i stackar vid produktionsfälten, men här sker ingen komprimering. Underlaget bör vara väl dränerat och gärna hårdgjort. Stackläggningen kan utföras med en grävmaskin eller bandtransportör. Ju högre och brantare stackarna görs, desto bättre blir luftväxlingen, varför en viss torkning kan ske. Stackarna bör dessutom övertäckas med plast eller presenning för att undvika uppfuktning.

Lastning och transport till lager vid förbränningsanläggningen kan ske med egen traktor och vagn (figur 96). Vid småskaliga system kan det vid god tillgång på utrymme vara bättre att vid skörd köra hem torven och lagra den inomhus nära pannan.



Figur 96. Medelstor stycketortvproduktion med gårdens egna maskiner. Källa: Svenska lantbrukssällskapens förbund, 1982.

Vid hantering av torkad torv föreligger alltid risk för brand- och dammexplosioner. Finfördelat torvpulver kan t ex lätt antändas av en gnista och förorsaka svåra bränder. Man bör beakta följande åtgärder för att minska brandrisken:

- \* rengör maskinerna ofta
- \* rökning förbjuden på tåkten
- \* fordon ska ha brandsläckare
- \* ha tillgång till vatten

Vid lagring av frästörv med fukthalten 45-55 % och temperaturen 15-30 °C är förutsättningarna gynnsamma för mikrobiell tillväxt i stacken. Härvid börjar temperaturen i stacken att stiga. Denna självuppvärmning kan leda till energiförluster genom oxidation, och i värsta fall till självantändning.

### **Egenskaper som bränsle**

Torvens värmevärde varierar med humifieringsgraden och torvslaget. Ökad humifieringsgrad ger högre energiinnehåll per kg torv. Andelen kol ökar från ca 50 till 60 % i en låg- resp höghumifierad torv. Högre humifieringsgrad innebär även högre densitet, vilket leder till lägre produktionskostnader per kg torv, eftersom produktionskostnaderna är lika stora per volymsenhet.

Askhalten varierar framförallt med torvslaget. Humifieringsgraden har här en mycket liten betydelse. Vitmosstorv har normalt låga askhalter, medan halten är högre hos kärr- och starrtorv.

En odikad torvmosse innehåller nästan enbart vatten (90-95 %). Vattnet förekommer i form av fritt vatten, kapillärt samt kolloidalt bundet vatten. Genom dikning kan vattenhalten sänkas till 80 % i ytan. Mekanisk pressning kan ytterligare sänka vattenhalten till 70-75 %. För att kunna förbränna frästörv bör vattenhalten vara ungefär 50 %. Motsvarande vattenhalt för stycketorv är ca 35 %. Det är således avsevärda mängder vatten som ska torkas bort på fälten under en kort sommarperiod.

Torv förbränns vanligen i rostpannor, men vid större anläggningar förekommer även förbränning i fluidiserad bädd. Torv ger, jämfört med olja och kol, stora rökgasvolymmer per producerad värmeenhet. Detta beror på att torvens höga fukthalt ger stora mängder vattenånga, samt dess höga syrehalt som binder en del av kolet. Detta medför att såväl eldstad som rökgaskanal måste ha stora dimensioner. Torvens stora askinnehåll med emellanåt låga sintringstemperatur (ned mot 900°C) kan ge problem med sintring.

### **Miljöaspekter**

#### Produktion

Miljökonsekvenserna vid produktion av bränsletorv är främst betingade av dräneringen. Dikningens effekter på avrinningsvattnets kvantitet och kvalitet påverkas bl a av torvslaget, torvmarkstypen, täktens lokalisering i avrinningsområdet m m. Till följd av dikningen sänks grundvattennivån lokalt, varvid avrinningen förändras. Vattnets pH-värde kan sjunka något, vilket ökar risken för utlösning av tungmetaller. Ett annat problem är att vattnet grumlans nedströms, vilket försämrar livsbetingelserna för den vattenlevande faunan. Denna olägenhet kan dock undvikas med hjälp av sedimenteringsbassänger.

Floran förändras genom att de vattenkrävande arterna försvinner efter dräneringen. Konsekvenserna är emellertid starkt avhängiga av täktens ursprungliga vatten- och artinnehåll. Även myrens fauna påverkas självfallet av torvutvinningen. Sålunda försvinner vissa fågelarter, liksom större djurarter såsom älg och hare.

Övergången från myr till torvtäkt förändrar landskapsbilden. Man ska dock ha i åtanke att skönhetsupplevelser i naturen är subjektiva. När täkten brutits färdigt kan området behandlas så att en sjö eller fastmark skapas. En sjö kan åter ge området en typisk våtmarkskaraktär. Fastmarken, som kräver effektiv dränering, kan t ex användas för jordbruks- eller skogsbruksproduktion, eller för odling av energiskog.

### Förbränning

Svavelinnehållet i torv är normalt 0,1-0,3 % av ts. Enligt dagens riktlinjer för utsläpp vid förbränning av torv (0,10-0,17 g svaveloxider/MJ bränsle), klarar torven dessa miljökrav. I större förbränningsanläggningar kan tillsatser av kalkbaserade svavelbindande ämnen avsevärt minska svaveloxidhalten i rökgaserna.

Utsläppen av kväveoxider beror främst på torvens kvävehalt och förbränningstekniken. Ökad kvävehalt ger högre utsläpp av kväveoxider, medan en bra pannkonstruktion och optimala driftsförhållanden minskar utsläppen. I storskaliga förbränningsanläggningar kan utsläppen uppgå till 0,15-0,25 g NO<sub>x</sub>/MJ tillfört bränsle.

Torv innehåller normalt 3-5 % aska. Askan innehåller framförallt oxider av kisel, aluminium, järn och kalcium, samt ett flertal metallföreningar. I större koncentrationer kan dessa ämnen, t ex kvicksilver, vara giftiga. Torvaskan skulle kunna användas som kalknings- och gödselmedel på åkermark. Innehållet av spårelement är dock ungefär lika stort som i rötslam. Anrikning av spårelement i mark och gröda behöver studeras ytterligare innan generella regler utformas. Ett annat alternativ vore skogsgödsling på torvmarker.

Uran, som är ett spårelement, kan förekomma i förhöjda halter där berggrunden är uranhaltig. I några enstaka myrar kan uranhalten t o m vara så hög att askhanteringen kräver särskilda tillstånd.

## EKONOMI OCH MARKNAD

### Finns det en marknad för biobränslen?

Marknaden definieras vanligen som den punkt i tid och rum där köpare och säljare överlåter en vara eller tjänst för ett avtalat pris. Priset bestäms av relationen mellan utbud och efterfrågan. Marknaden för biobränslen kan uppdelas i flera mer eller mindre fristående marknader. Dessa kännetecknas av olika krav på bränslets beskaffenhet, anläggningarnas storlek, transportavstånden m m.

Industrin dominerar användningen av biobränslen. Under 1990 utnyttjades t ex nära 43 TWh. Bränslena består främst av lutar och andra biprodukter från massa- och sågverksindustrin. Dessa bränslen kommer sällan ut på marknaden, eftersom de konsumeras vid produktionsplatsen. Energin erhålls i form av värme, samt ibland som el (industriell mottryckskraft). I massaindustrin förbränns t ex lutar i sodapannor, från vilka man sedan erhåller värme i form av processånga. Ångan driver elturbiner, varefter den används för industriella processer.

Fjärrvärmeverk har oftast flera olika energikällor. Som baslast används system med höga fasta kostnader, t ex pannor avsedda för fasta bränslen och avfall, medan olja används för topplasten. Fjärrvärmeverken använder en mångfald av bränslen, där t ex trädbränslen svarar för ca 9 %, torv 6 %, avfall 10 %, olja 10 %, naturgas 4 %, el 16 %, värmepumpar 16 %, spillvärme 8 % och kol 22 %. Den totalt tillförda energimängden är ca 40 TWh/år (STEV, 1991). Värmeverken har stora möjligheter att påverka marknadspriserna eftersom de med moderna pannor ofta kan välja det billigaste bränslet. De bedöms i framtiden tillsammans med industrin utgöra den största marknaden för biobränslen.

Större friliggande byggnader såsom skolor o dyl använder mestadels fjärrvärme eller olja för sin uppvärmning. Man vill här ofta ha en så bekväm och driftssäker eldning som möjligt. För byggnader som inte är anslutna till fjärrvärmenät torde förädlade biobränslen vara konkurrenskraftiga gentemot oljan.

I tabell 17 visas vilka uppvärmningskällor som småhusen använder. Enligt SCB (1991) har 472 000 hus direktverkande el, och som framgår av tabellen är 110 000 hus anslutna till ett fjärrvärmenät. Dessa hus är på kort sikt inte aktuella för vedeldning, förutom en viss trivseldning i öppna spisar. Däremot värms ungefär 38 % av husen enbart eller till viss del med ved.

Idag beräknas vedeldningen i småhus uppgå till motsvarande 12 TWh. Det är svårt att bedöma hur den framtida marknadspotentialen kommer att se ut; men med effektivare och mindre arbetskrävande värmesystem utgör småhusen en intressant marknad för säljare av vedbränslen.

Tabell 17. Småhusens användning av bränslen (Källa: SCB, 1991)

Indelningsgrund	Småhus på jordbruk		Småhus på annan fastighet		Alla småhus	
	1000-tal	Procent	1000-tal	Procent	1000-tal	Procent
Ved enbart	56	28,9	53	3,4	109	6,3
Ved och el	63	32,5	306	19,8	369	21,3
Ved och olja	23	11,9	109	7,1	132	7,6
Ved, el och olja	5	2,6	48	3,1	53	3,1
El enbart	19	9,8	550	35,7	569	32,8
El och olja	3	1,5	117	7,6	120	6,9
Olja enbart	14	7,2	206	13,4	220	12,7
Fjärrvärme	0	0	110	7,1	110	6,3
Annan panncentral	0	0	9	0,6	9	0,5
Annat	11	5,7	33	2,1	44	2,5
Summa	194	100,0	1541	100,0	1735	100,0

## Marknaden för de olika bränslena

### Skogsbränsle

I augusti 1991 var flispriset 11,5 öre/kWh. Eldningskostnaderna för flis är ca 7-12 öre/kWh högre än vid oljeeldning. Om bränslet förädlas till briketter, pelletter eller pulver sjunker motsvarande kostnad till 2-5 öre/kWh. Förädlingskostnaden är ca 6-8 öre/kWh. De största leverantörerna av skogsbränsle är Södra Skogsenergi AB och SCA Skog AB. Bland de största kunderna för bränsleflis finns värmeverken i Linköping (340 GWh) och Borås (320 GWh).

Brasved kan säljas för 900-1500 kr/m<sup>3</sup>f direkt till kund, medan grossister betalar 600-800 kr/m<sup>3</sup>f.

### Energiskog

Under 1991 skördades ungefär 40 ha energiskog i kommersiellt syfte. Priset var runt 12-13 öre/kWh. Om fem år beräknas utbudet uppgå till knappt en miljon m<sup>3</sup>s. Bondekooperationens lantmanna- och skogsägarföreningar har bildat särskilda bolag som ombesörjer skörd och distribution av energiskogsflis. I Mellansverige finns t ex Mälarbränsle AB, och i Västsverige Trädbränsle i Väst AB. Bolagen skriver kontrakt med lantbrukarna för att trygga deras avsättning. De kan vid behov även leverera skogsflis till värmeverken. På vissa orter har lantbrukarna själva bildat organisationer för skörd, distribution och eldning av energiskogsflis. Dessa bolag levererar hetvatten till kommunala energibolag och andra köpare.

Flismarknadens kunder utgörs framförallt av värmeverk och värmecentraler. Efterfrågan betingas bl a av skatter och avgifter på konkurrerande bränslen, plan-



eringssituationen (t ex vilken panntyp man har och när byte beräknas ske) etc. Efterfrågan är således till stor del beroende av nationella och lokala politiska beslut.

Energiskogsflis konkurrerar med skogsflis, eftersom slutprodukten är likartad för kunden. En viktig konkurrensfördel är att produktionen kan ske nära stora befolkningscentra. Skogsflisen bestämmer för närvarande priset genom sin överlägsna dominans på marknaden. Produktion av energiskogsflis har större fasta kostnader, och för att vara konkurrenskraftig måste produktionskostnaderna minskas ytterligare. Det reala priset på flis har nästan halverats sedan 1980. Idag är utbudet av flis större än efterfrågan.

### Stråbränslen och spannmål

Idag används halm som bränsle i två värmeverk, vilka sammanlagt förbrukar cirka 7000 ton halm/år. Därutöver beräknas ungefär 70-80 gårdsanläggningar (<0,5 MW) vara i drift. Eftersom bärgningen sker under en hektisk period för lantbrukaren, utförs detta arbete vanligen av entreprenörer vid storskalig bärgning. Bärgningskostnaden kan då reduceras genom optimalt utnyttjande av maskiner med hög kapacitet. Halm är mycket skrymmande och ger dyra transporter, vilket innebär att marknaden får en lokal prägel.

Vid ett av värmeverken är priset 45 öre/kg fritt värmeverket. Härav betalas 6 öre/kg för halmen på fältet, 15 öre/kg för pressning, och 24 öre/kg för transporter, lagring m m. Eldningsanläggningarna är mer komplicerade än vid fliseldning, vilket medför att halm bör betalas med ett lägre pris än flispriset fritt värmeverk. Alternativa användningsområden, förutom som bränsle och strömedel i lantbruket, är användning i större häststall och som råvara för tillverkning av byggnadsmaterial.

Idag odlas energigräs på cirka 4000 ha. Odlingen är särskilt intressant i Norrland, där förutsättningarna för odling av energiskog är dåliga. Odlingens lönsamhet betingas framförallt av att man kan erhålla omställningsbidrag. Det är därför troligt att intresset minskar efter omställningsperiodens slut. Odling av energigräs kan motiveras företagsekonomiskt om man erhåller bidrag för att hålla landskapet öppet, eller som ett led i en regionalpolitisk satsning.

På fjärrvärmemarknaden konkurrerar spannmål mot flis och halm, vilket skulle ge ett pris på ungefär 50 öre/kg. Detta kan jämföras med spannmålspriset för vete under hösten 1991, som var cirka 110 öre/kg. Kärnorna kan även konkurrera på pellettmarknaden, där priset är omkring 75-80 öre/kg. Grovmalen vetemjöl konkurrerar med trä- och kolpulver. Här är priset ungefär 90 öre/kg fritt värmeverk (inkl malning).

### Biogas

Produktion av biogas kräver relativt stora insatser av kapital och transporter, vilket medför att anläggningarna blir relativt stora. Med lusern som substrat beräknas produktionskostnaden för en storskalig anläggning bli 40-47 öre/kWh.

För att sänka priset till en konkurrenskraftig nivå kan ingen ersättning lämnas för odlade gördor. Med billiga råvaror som gödsel och annat organiskt avfall kan biogas bli konkurrenskraftig mot gasol. Många anläggningar kan även bli lönsamma genom att man samtidigt löser vissa miljöproblem.

### Torv

Under 1990 uppgick torvproduktionen till cirka 3,2 TWh, varav stycketorven svarade för 1,7 TWh och frästorven för 1,5 TWh. Dessutom producerades 0,8 milj m<sup>3</sup> torv som jordförbättringsmedel. Mängden producerad torv kan variera mellan olika år, beroende på väderleken. Den största producenten av bränsletorv är Härjedalens Mineral AB i Sveg. De levererar torvbriketter till energibolagen i Uppsala och Jönköping. Ett annat stort företag är Råsjö Torv, som levererar bränsle till köpare i Mellan- och Sydsverige. Utvinningen av torv sker främst i nedre Norrland, varför det blir långa transportsträckor. Transporterna sker vanligen på järnväg.

Alternativa användningsområden för torv är som byggnadsmaterial (isolerplattor), som oljesaneringsmaterial, samt som torvströ i djurhållningen. I augusti 1991 var priset på stycketorv 12,3 öre/kWh. Priset är något högre än flispriset, eftersom bränslet är torrare och man kan erhålla en något högre verkningsgrad.

### **Prisfaktorer**

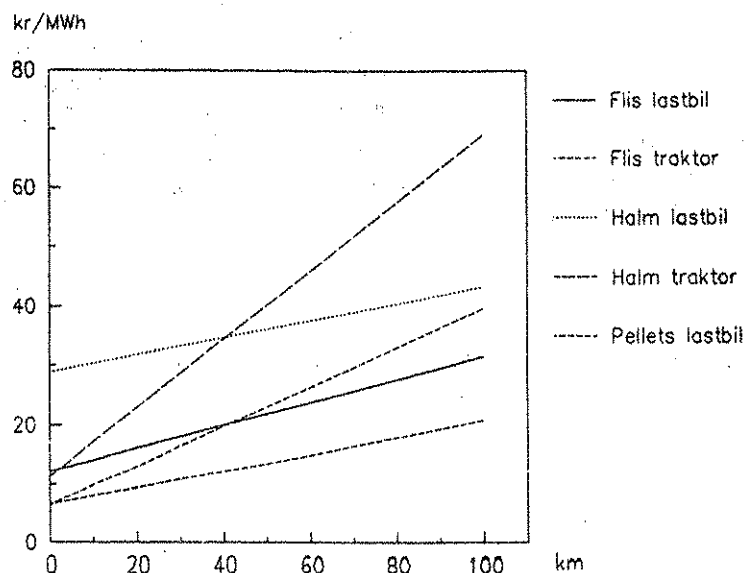
Bränslenas pris och därmed konkurrensförmåga bestäms bl a utifrån gällande skatteregler, transportavstånd, hur man värderar deras miljömässiga och samhällsekonomiska fördelar m m. Här diskuteras några prisfaktorer som påverkar marknaden.

De ekonomiska styrmedlen, dvs skatter och avgifter, bestämmer i hög grad biobränslenas konkurrensförmåga. Den nuvarande (februari -92) beskattningen på svavelutsläpp är 30 kr/kg svavel i kol och torv. Olja beskattas med 27 kr per kubikmeter olja för varje tiondels viktprocent svavel i oljan. Om svavelinnehållet är mindre än 0,1 % utgår ingen skatt. Om rökgasen renas återbetalas skatten med 30 kr per kg svavel i förhållande till utsläppets minskning.

Koldioxidskatt utgår vid förbränning av alla bränslen utom biobränslen och torv. Beloppet är 25 öre/kg utsläppt koldioxid. Skatten gäller dock inte vid kraftvärme- eller ren elproduktion.

Avgiften för kvävedioxidutsläpp gäller alla bränslen när pannans tillförda effekt är minst 10 MW och producerad energimängd överstiger 50 GWh/år. Om utsläppet inte kontrolleras genom mätning beräknas avgiften genom ett schablonutsläpp. Avgiften återbetalas i förhållande till den mängd energi som omvandlats, vilket betyder att anläggningsägare med höga utsläpp betalar till dem med låga.

Biobränslen produceras decentraliserat över stora arealer med lågt utbyte per ytenhet. Bränslena är dessutom ofta mycket skrymmande med lågt energiinnehåll per volymenhet. Detta medför att transport- och lagringsbehoven är avsevärt större än för t ex kol och olja. Transporterna sker vanligen med antingen traktor eller lastbil. Eftersom lastbilstransporter har höga fasta kostnader och låga rörliga kostnader, är detta transportsätt lämpligare vid långa avstånd. Brytpunkten ligger vid transportavstånd kring 30-40 km, se figur 97. Ur denna synpunkt bör värmeverken inte vara för stora om tillgången på biobränslen är begränsad inom närområdet.



Figur 97. Transportkostnader för biobränslen vid olika avstånd. Halmen transporteras i form av rektangulära storbalar. Källa: Kristensson & Axenbom, 1991.

Utnyttjande av biobränslen innebär totalt sett en arbetskrävande energiförsörjning. Konsekvenserna för den enskilda regionen beror dock på vilka bränslen som produceras, samt om bränslena förädlas och används inom regionen. Förutom ökad sysselsättning och positiva miljökonsekvenser medför utnyttjande av biobränslen även en viss kapital- och kunskapsuppbyggnad på landsbygden. Dessa regionala ekonomiska bieffekter, så som tilläggsvärden, beaktas ofta inte i de traditionella kalkylmodellerna.

## LITTERATUR

- Almquist, A. 1987. Lantbruket och energin. Sveriges lantbruksuniversitet, Konsulentavdelningen. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 361. Uppsala.
- Andersson, R. 1990. Biobränslen från jordbruket. En analys av miljökonsekvenser. Naturvårdsverket. Rapport 3713. Stockholm.
- Anon. 1990. Sameldning energigräs - torv. Miljö och ekonomi. Bioenergifakta. Statens lantbrukskemiska laboratorium. Umeå.
- Axenbom, Å. 1989. Vedeldad värmecentral? Projekteringsuppgift i kursen Lantbrukets Energiteknik, hösten 1988. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Institutionsmeddelande 89:05. Uppsala.
- Axenbom, Å. 1991. Halm som bränsle för framtida elproduktion - en sammanfattning av dagsläget. Vattenfall. Bioenergi. Utveckling & miljö U(B) 1991/44. Älvkarleby.
- Axenbom, Å. (red.). 1992. Biobränsle från jord och skog. Värdering i ett marknadsperspektiv. Sveriges lantbruksuniversitet, SLU/Info. Uppsala. (Ännu opublicerat Aktuellt-meddelande).
- Beckman, O., Kjällerström, B. & Sundström, T. 1986. Energilära. Almqvist & Wiksell. Stockholm.
- Bernesson, S. 1991. Drivmedel från jordbruksgrödor. Egenskaper och tillämpad teknik. Sveriges lantbruksuniversitet, SLU/Info. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 395. Uppsala.
- Bostadsstyrelsen. 1982. Energihandläggaren. Bostadsstyrelsens energihandläggarpärm. Stockholm.
- Brolin, L., Thyselius, L. & Johansson, M. 1988. Biogas ur energigrödor. System och kostnader för storskalig framställning och användning av biogas. Vattenfall. Fasta bränslen. Utveckling & miljö. Älvkarleby.
- Byggforskningsrådet. 1982a. Instruktion för trimning av oljepannor. EPD Energiråd 1. Stockholm.
- Byggforskningsrådet. 1982b. Instruktion för tätning av fönster och dörrar. EPD Energiråd 3. Stockholm.
- Byggforskningsrådet. 1982c. Instruktion för tilläggsisolering. EPD Energiråd 4. Stockholm.
- Bygginfo. 1981. Faktablad om FTX-system. Nr 3 1981. Bygginfos energiavdelning. Stockholm.
- Dahlvig, G. 1981. Energi. Faktabok. Liber yrkesutbildning. Stockholm.
- Danfors, B. 1988. Teknik för produktion av energiskog. Jordbrukstekniska institutet. Teknik för lantbruket 16. Uppsala.

- Domänverket & SSR. 1982. Skogsbränsle. Energi från skog till värme. Falun. e-gruppen. Broschyrmaterial.
- e-gruppen. 1987. Vedeldning. Teoretiska grunder och praktiska råd. Häfte 2. 62 s. Stockholm.
- Ehrlemark, A. & Svensson, L. 1982. Energi för jordbrukets byggnader. Sveriges lantbruksuniversitet. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 308. Uppsala.
- Hadders, G. 1989. Skörd, lagring och hantering av gräs för förbränning. Jordbrukstekniska institutet. Meddelande nr 426. Uppsala.
- JTI. 1985. Aktuellt från Jordbrukstekniska institutet. Årsberättelse 1984-1985. JTI-meddelande 410. 93 s. Uppsala.
- Konsulentavdelningen. 1986. Marknadens flishuggar, vedklyvar, vedkapar och vedmaskiner. Sveriges lantbruksuniversitet, Konsulentavdelningen teknik. Energiteknik 3. Uppsala.
- Konsulentavdelningen. 1990. Marknadens villapannor för ved och ackumulator-tankar. Sveriges lantbruksuniversitet, Konsulentavdelningen teknik. Energiteknik 1. Uppsala.
- Kristensson, N. & Axenbom, Å. 1991. Traktor eller lastbil vid transport av biobränslen? Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Institutionsmeddelande 91:04. Uppsala.
- LBK. 1990. Uppvärmning och torkning i lantbruket. Lantbrukets brandskyddskommitté, LBKs rekommendationer 11:1. Stockholm.
- Leuchovius, T. (red.). 1983. Gårdsvärme. LTs förlag. Stockholm.
- Länsförsäkringar. Broschyr. Miljövänlig och säker vedeldning.
- Mörtstedt, S.-E. & Hellsten, G. 1985. Data och diagram. Esselte studium. Stockholm.
- Nilsson, C., Carling, H., Ekström, N. & Ivarsson, E. 1988. Att elda med halm. Sveriges lantbruksuniversitet. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 364. Uppsala.
- Nilsson, D. 1991. Bärgning, transport, lagring och förädling av halm till bränsle - metoder, energibehov, kostnader. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Rapport 150. 98 s. Uppsala.
- Nybyggnadsregler. 1989. Boverkets nybyggnadsregler, BFS 1988:18. Allmänna förlaget. Stockholm.
- Olsson, G. 1991. Miljöproblem vid vedeldning i små och medelstora anläggningar. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Seminarieuppsats (opublicerad).

- Peterson, F. 1980. Värmesystem. KTH, Uppvärmnings- och ventilationsteknik. Kompendium 1:4. Stockholm.
- SCB. 1991. Energistatistik för småhus 1990. Statistiska centralbyrån. Örebro.
- Sennerby-Forsse, L. & Johansson, H. 1989. Energiskog. Handbok i praktisk odling. Sveriges lantbruksuniversitet, Konsulentavdelningen. Speciella skrifter 38. Uppsala.
- Solbräcke, B. 1976. Bränslen och förbränningslära. CTH, Energiteknik. Göteborg.
- Statens maskinprovningar. 1983. Traktorburna stycketorvupptagare. Meddelande 2805. Uppsala.
- STEV. 1986. Torv som bränsle. Statens energiverk. Stockholm. 33 s.
- STEV. 1991. Energiläget 1990. Statens energiverk. Stockholm.
- Stewart, J. D. 1983. Methane from crop-grown biomass. In Fuel Gas Systems (ed. D. L. Wise), 86-109. Boca Raton, Florida: CRS-Press.
- Svennberg, S. A. 1983. Värmeåtervinning ur ventilationsluft. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm.
- Svenska lantbrukssällskapens förbund. 1982. Torv. En handbok i upptagning av stycketorv. Skrift LFC B 52. Helsingfors, Finland.
- Turesson, M. 1989. Kan vallgräs användas som energiråvara? Sveriges lantbruksuniversitet, Konsulentavdelningen. Fakta, mark - växter nr 4. Uppsala.
- Videncentret for halm- og flisfyring. 1987. Halmfyring. Teknik - miljø - økonomi. København. Danmark.
- Wilén, C., Ståhlberg, P., Sipilä, K. & Ahokas, J. 1984. Pelletization of straw. Proceedings of Bioenergy 84 in Gothenburg. Volume III.
- VVS-handboken. 1974. Förlags AB VVS. Stockholm.